ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE : 90

MICROCHIRURGIE NERVEUSE ET GREFFE DE NERF CONSERVE

THESE

pour le Doctorat Vétérinaire
(Diplôme d'Etat)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse

par

Jean-Luc, Jacques, Eugène, Constant FLINOIS
Né le 22 Juillet 1953 à Valenciennes (Nord)

MEMBRES DU JURY

Président : Monsieur LAZORTHES
Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse

Assesseurs : Monsieur CAZIEUX
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Monsieur MAGNOL
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Imp. Corep - 21, rue Viguerie - 31300 Toulouse - Tél. 42.01.19

UNIV.
LIBRARY
ABE.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547625_0004

ECOLE NATIONALE VETERINAIRE DE TOULOUSE

ANNEE : 1982 THESE : 90

MICROCHIRURGIE NERVEUSE

ET GREFFE DE NERF CONSERVE

THESE

pour le Doctorat Vétérinaire
(Diplôme d'Etat)
Présentée et soutenue publiquement en 1982
devant l'Université Paul Sabatier de Toulouse

par

Jean-Luc, Jacques, Eugène, Constant FLINOIS
Né le 22 Juillet 1953 à Valenciennes (Nord)

MEMBRES DU JURY

Président : Monsieur LAZORTHES
Professeur à l'Université Paul Sabatier de Toulouse
Assesseurs : Monsieur CAZIEUX
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse
Monsieur MAGNOL
Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse

Imp. Corep - 21, rue Viguerie - 31300 Toulouse - Tél. : 42.01.19

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE

ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE TOULOUSE

Directeur : ..... M. LAUTIE
Directeur honoraire : ..... M. FLORIO
Professeurs honoraires : ..... MM. BRIZARD
..... SAURAT
..... GODFRAIN

PERSONNEL ENSEIGNANT

CHAIRE DE PHARMACIE ET TOXICOLOGIE

Professeur titulaire : ..... Mme BURGAT-SACAZE
Maître-Assistant : ..... M. PETIT

Pharmacie et Toxicologie

CHAIRE DE PHYSIQUE ET CHIMIE BIOLOGIQUES ET MÉDICALES

Professeur titulaire : ..... MM. RICO
Professeur sans chaire : ..... BRAUN
Maître-Assistant : ..... BENARD

Physique biologique et médicale
Chimie biologique et médicale
Informatique biologique et médicale

CHAIRE D'ANATOMIE DES ANIMAUX DOMESTIQUES

Professeur titulaire : ..... MM. PAVAUX
Maître-Assistant : ..... LIGNEREUX
Maître-Assistant : ..... SAUTET

Organogénèse - Tératologie
Anatomie Générale - Anatomie appliquée

CHAIRE DE PHYSIOLOGIE, PHARMACODYNAMIE ET THÉRAPEUTIQUE

Professeur titulaire : ..... MM. RUCKEBUSCH
Professeur sans chaire : ..... FARGEAS
Maître-Assistant Agrégé : ..... TOUTAIN

Physiologie - Pharmacodynamie - Thérapeutique

CHAIRE D'HISTOIRE - ANATOMIE PATHOLOGIQUE

Professeur titulaire : ..... MM. VAN HAVERBEKE
Professeur sans chaire : ..... CABANIE
Maître-Assistant : ..... MAGNOL

Histologie - Embryologie
Anatomie Pathologique - Clinique

CHAIRE D'HYGIÈNE ET INDUSTRIE DES ALIMENTS D'ORIGINE ANIMALE

Professeur titulaire : ..... MM. LABIE
Maître de Conférence : ..... EECKHOUTTE
Maître Assistant Agrégé : ..... Mme BENARD

Hygiène, Inspection, Contrôle et Technologie des denrées alimentaires
d'origine animale - Clinique

CHAIRE DE PARASITOLOGIE ET MALADIES PARASITAIRES

Professeur titulaire : ..... MM. DORCHIES
Maître de Conférences : ..... FRANC
Maître Assistant : ..... DUCOS DE LAHITTE

Zoologie appliquée - Écologie - Parasitologie externe -
Dermatologie Parasitologie interne - Clinique

CHAIRE DE SEMIOLOGIE ET PATHOLOGIE MÉDICALE DES ÉQUIDÉS ET CARNIVORES ET DE LEGISLATION

Professeur titulaire : ..... MM. LESCURE
Maître de Conférences : ..... GUELFI
Maître Assistant : ..... REGNIER

Sémiologie et Pathologie Médicale des Équidés et Carnivores
Législation Vétérinaire et Déontologie Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE MÉDICALE DU BÉTAIL ET DES ANIMAUX DE BASSE-COUR

Professeur titulaire : ..... MM. TOURNUT
Maître de Conférences : ..... BEZILLE
Maître Assistant : ..... JOUGLAR

Sémiologie et Pathologie Médicale du Bétail
et des animaux de basse-cour
Clinique - Consultation itinérante

CHAIRE DE PATHOLOGIE CHIRURGICALE

Professeur titulaire : ..... MM. CAZIEUX
Maître de Conférences : ..... GENEVOIS
Maître Assistant : ..... AUTEFAGE
Maître Assistant : ..... FAYOLLE

Propédeutique et Sémiologie chirurgicale - Radiologie -
Technique chirurgicale - Anesthésiologie - Pathologie Chirurgicale -
Traumatologie - Podologie orthopédique - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE DE LA REPRODUCTION

Professeur titulaire : ..... MM. FERNEY
Professeur sans chaire : ..... ROYAL

Pathologie de l'appareil génital et de la mamelle -
Sémiologie et propédeutique - Pathologie de la Reproduction -
Obstétrique et pathologie du nouveau-né Clinique -
Consultation itinérante

CHAIRE DE MALADIES CONTAGIEUSES - ZOONOSES - LÉGISLATION SANITAIRE

Professeur titulaire : ..... MM. CHANTAL
Maître Assistant : ..... PICAVET

Épidémiologie - Maladies Contagieuses
Zoonoses - Législation sanitaire - Clinique

CHAIRE DE PATHOLOGIE GÉNÉRALE - MICROBIOLOGIE - IMMUNOLOGIE

Professeur titulaire : ..... MM. LAUTIE
Maître Assistant : ..... PELLERIN
Maître Assistant : ..... MILON

Microbiologie - Immunologie -
Pathologie Générale

CHAIRE D'ÉLEVAGE ET ÉCONOMIE

Professeur titulaire : ..... MM. QUEINNEC
Professeur sans chaire : ..... DARRE
Maître Assistant : ..... Mme QUEINNEC

Ethnologie - Génétique animale - Extérieur - Zootechnie et économie générales -
Ethologie appliquée. Sciences. Techniques. Économie de l'Élevage et des Productions animales -
Insémination artificielle - Organisation de l'Élevage

CHAIRE D'ALIMENTATION

Professeur titulaire : ..... MM. FALIU
Professeur sans chaire : ..... GRIESS
Maître Assistant : ..... ENJALBERT

Botanique appliquée et bromatologie
Agronomie - Alimentation

CHARGÉS D'ENSEIGNEMENT

MM. les Professeurs ANGELIER, ARMENGAUD, COMBES, COMBRET, CROS, FERNET et MAZENC.

La Faculté et l'Ecole déclarent n'être pas responsables des opinions émises par les candidats (délibération de a Faculté en date du 10 mai 1981 et du Conseil de l'Ecole en date du 13 juin 1924.)

A mes parents

"Pour tout ce que je leur dois"

A Hélène, ma femme

"Ton amour est pour beaucoup dans la réalisation de ce travail"

A Emeline, ma fille

A mes frères

A tous ceux que j'aime

A notre Président de Thèse

Monsieur le Professeur Y. LAZORTHES
de l'Université Paul Sabatier de Toulouse

"Qui nous a fait le grand honneur d'accepter la présidence de notre Jury de Thèse".

Hommages respectueux.

A Monsieur CAZIEUX

Professeur à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

"qui a bien voulu accepter notre sujet de thèse et qui nous a guidé dans l'élaboration de ce travail

en remerciement pour l'enseignement qu'il nous a prodigué, qu'il trouve ici le témoignage de notre reconnaissance et notre respectueuse gratitude."

A Monsieur MAGNOL

Maître Assistant Agrégé à l'Ecole Nationale Vétérinaire de Toulouse,

"que nous remercions d'avoir accepté de faire partie de notre Jury de Thèse".

A Monsieur le Médecin Général P. BOURREL

Sous-directeur de l'IMTSSA

Professeur agrégé et chirurgien des hopitaux des Armées

Membre titulaire de la Société Francaise de chirurgie orthopédique et traumatologique

Membre titulaire du groupe d'"*étude de la main*"

Membre du Collège Français des chirurgiens orthopédistes

Membre associé de l'Académie de chirurgie.

"Vous avez bien voulu nous conseiller et nous aider soyez assuré de notre reconnaissance et de notre profond respect."

A Monsieur le Médecin en Chef P. GIRAUDEAU

Chef du Laboratoire de chirurgie et de physiologie expérimentale du C.E.R.M.T. - IMTSS Marseille

Membre de la Société Française de chirurgie plastique et reconstructive

Membre de l'association des léprologues de langue française

Membre de l'association internationale des léprologues

"Vous avez guidé ce travail. Nous avons été très sensibles à la confiance que vous nous avez accordée pour le réaliser.
Votre amitié et votre estime ont été de précieux soutiens dans des moments difficiles.
Soyez assuré de toute notre gratitude et de notre très fidèle amitié."

A Monsieur le Vétérinaire Biologiste en Chef

P.L. BRETEAU

Chef de la S.V.E.R.P.P.A.

"Vous nous avez aidé dans la réalisation de la partie expérimentale,
en témoignage de notre reconnaissance, pour la confiance que vous nous avez témoignée et pour l'excellence de vos conseils."

A Monsieur le Professeur JH. RICOSSE
Médecin Général
Chaire Hygiène de Santé Publique Tropicales
Chef du Laboratoire d'anatomie pathologique
IMTSSA Marseille.

Au personnel du Laboratoire d'Histologie

"Pour votre gentillesse et votre efficacité, nous vous exprimons nos plus vifs remerciements".

J.L. FLINOIS

MICROCHIRURGIE NERVEUSE ET GREFFE DE NERF CONSERVE

SOMMAIRE

Pages

INTRODUCTION..... 1

DEFINITION HISTORIQUE..... 2

1ere PARTIE : LE MATERIEL DE MICROCHIRURGIE & NECESSITE DE LA SPECIALISATION DU CHIRURGIEN ET DU SERVICE..... 6

1 - LE MATERIEL DE MICROCHIRURGIE..... 7

1.1 Le matériel de microchirurgie..... 7

1.1.1 Rappel des différents types de microscopes opératoires..... 7

1.1.2 Différentes parties du microscope... 8

1.1.3 Microscope et asepsie..... 11

1.1.4 Facteurs guidant l'achat du microscope..... 11

1.1.5 Réglage et entretien du microscope.. 11

1.1.6 La microphotographie..... 12

1.2 Les micro-instruments..... 14

1.2.1 Problèmes causés par l'instrumentation de microchirurgie..... 14

1.2.2 Les principaux instruments..... 14

1.2.3 Leur entretien..... 18

1.3 Le matériel de microsuture..... 18

1.3.1 Les aiguilles..... 18

1.3.2 Le fil..... 19

1.3.3 Nomenclature..... 21

Pages

2 - NECESSITE DE LA SPECIALISATION DES CHIRURGIENS ET DU SERVICE..... 22
2.1 La position du microchirurgien..... 22
2.2 L'apprentissage et l'entrainement..... 23
2.2.1 Sur tube de silicone..... 23
2.2.2 Passage sur des animaux d'expérience 24

2ème PARTIE : RAPPEL SUR LA STRUCTURE DES NERFS PERIPHERIQUES & DIFFERENTS ASPECTS DU TRAUMATISME NERVEUX..... 26

1 - RAPPEL SUR LA STRUCTURE DES NERFS PERIPHERIQUES..... 27
1.1 La fibre nerveuse..... 28
1.2 Le tissu de soutien..... 31
1.2.1 L'épinèvre..... 31
1.2.2 Le périnèvre..... 31
1.2.3 L'endonèvre..... 32
1.3 La vascularisation..... 33
1.4 La notion de fascicule..... 35
1.5 Conséquences chirurgicales..... 36

2 - DIFFERENTS ASPECTS DU TRAUMATISME NERVEUX 38
2.1 Aspects neuropathologiques..... 38
2.1.1 Le neurotmesis..... 38
2.1.2 L'axonotmesis..... 38
2.1.3 La neurapraxie..... 38

Pages

2.2 Conséquences anatomiques et fonctionnelles de ces trois types de lésions..... 38

3ème PARTIE : LA REPARATION NERVEUSE & LA GREFFE NERVEUSE..... 42

1 - LA REPARATION NERVEUSE..... 43

1.1 Facteurs de variation..... 43

1.2 Moment de la réparation : primitive ou secondaire..... 44

1.3 Bilan opératoire au moment de la plaie 46

1.3.1 En urgence..... 46

1.3.2 En chirurgie secondaire - la neurolyse fasciculaire..... 46

1.4 Technique opératoire..... 50

1.4.1 Temps préparatoire..... 50

1.4.1.1 Préparation du lit de la suture 50

1.4.1.2 Préparation des extrémités à suturer..... 50

a) étendue de la recoupe..... 50

b) la recoupe proprement dite..... 50

c) la mise en contact des extrémités 51

d) orientation des extrémités..... 51

e) la présentation des extrémités... 51

1.4.2 La suture..... 53

1.4.2.1 Les sutures..... 53

a) la suture épineurale..... 53

b) la suture fasciculaire..... 53

c) la suture mixte..... 56

Pages

1.4.2.2 Le point..... 57
1.4.2.3 Le noeud..... 57
1.4.2.4 La répartition et le nombre de points de suture..... 58

2 - LA GREFFE NERVEUSE..... 62

2.1 Introduction..... 62
2.2 La greffe nerveuse proprement dite..... 63
2.2.1 Principes de la greffe nerveuse.... 64
2.2.2 Les facteurs qui peuvent influencer l'avenir de la greffe..... 68

2.3 Les greffes autologues..... 70

2.4 Les greffes homologues..... 73
CONSERVATION PAR LE CIALIT..... 74
2.5 Les greffes hétérologues..... 76

4eme PARTIE : ETUDE EXPERIMENTALE : HOMOGREFFES NERVEUSES REALISEES AVEC DES GREFFONS CONSERVES DANS LE CIALIT & DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES..... 77

1 - ETUDE EXPERIMENTALE : HOMOGREFFES NERVEUSES REALISEES AVEC DES GREFFONS CONSERVES DANS LE CIALIT 78

1.1 Généralités et matériel d'étude..... 78
1.2 L'animal de laboratoire..... 79
1.3 L'anesthésie..... 79
1.4 Le microscope et les instruments..... 79
1.5 Choix du nerf..... 79
1.6 Technique opératoire..... 80

Pages

1.7 Notre expérimentation..... 82
1.8 Données cliniques..... 82
1.9 Données électrophysiologiques..... 83
1.9.1 Le principe..... 83
1.9.2 Le matériel..... 84
a) le stimulateur..... 84
b) l'électrode de stimulation..... 85
c) l'électrode de détection..... 85
d) le récepteur..... 86
e) technique d'enregistrement..... 86
1.10 Données histologiques..... 90
1.11 Les résultats..... 92
a) cliniques..... 92
b) électriques..... 92
c) histologiques..... 95
1.12 Interprétation des résultats..... 97
a) cliniques..... 97
b) électriques..... 97
c) histologiques..... 98

5eme PARTIE : ATTITUDE PRATIQUE DU VETERINAIRE EN FACE D'UNE LESION NERVEUSE : DU BILAN CLINIQUE A LA REEDUCATION..... 107

1 - REALISATION DU BILAN..... 108
1.1 Bilan clinique..... 108
1.2 Bilan électrique..... 110

Pages

2 - QUELLES SONT LES INDICATIONS ?..... 111

2.1 Pour les plaies vues dans le cadre de l'urgence..... 111

2.2 Pour les plaies vues en-dehors de l'urgence..... 113

a) les interventions secondaires proprement dites..... 113

b) les lésions nerveuses découvertes tardivement..... 113

c) l'exploration itérative..... 114

3 - LA REEDUCATION..... 115

CONCLUSIONS..... 117

BIBLIOGRAPHIE..... 119

INTRODUCTION

La première réparation nerveuse réussie sur un chien remonte au XIX^{ème} siècle.

Depuis cette date, les travaux expérimentaux sur les animaux domestiques se sont succédés, et de ce fait, la chirurgie des nerfs périphériques chez l'homme a progressé. Un pas important a été réalisé vers 1950, lors de l'apparition du microscope opératoire.

La chirurgie nerveuse de l'animal de compagnie a peu profité de ces progrès. Traumatisme nerveux signifie amputation pour beaucoup de nos patients.

Cette lacune dans l'art vétérinaire, l'apparition du microscope opératoire dans nos Ecoles Nationales Vétérinaires et dans les cliniques importantes, nous a fait entreprendre ce travail.

Nous nous sommes efforcés d'une part de rassembler dans ce travail les connaissances actuelles, et d'autre part, de les adapter à l'animal de compagnie.

Dans une première partie, nous décrivons le matériel de microchirurgie. La deuxième partie rappelle l'anatomie du nerf et les traumatismes dont il est le siège. La troisième partie décrit la répartition nerveuse proprement dite. Notre expérimentation personnelle sur la conservation de greffons dans le cialit fait l'objet de la quatrième partie. Enfin, les problèmes pratiques auxquels sont confrontés les vétérinaires constituent la cinquième et dernière partie.

L'iconographie a pour but d'illustrer notre expérimentation et d'apporter un témoignage objectif à nos assertions.

DEFINITION DE LA MICROCHIRURGIE

HISTORIQUE

DEFINITION DE LA MICROCHIRURGIE

La microchirurgie est la chirurgie des structures anatomiques extrêmement fines, rendue possible grâce à un instrument optique grossissant : le microscope opératoire, et son corollaire, une instrumentation opératoire miniaturisée. Ainsi définie, la microchirurgie n'est rien de plus qu'une simple technique applicable dans les domaines les plus variés de la chirurgie, chaque fois que la petitesse de l'organe interessé rend difficile, sinon impossible, les gestes habituels utilisant une instrumentation classique, qu'il s'agisse de dissection, de résection, de ligatures, de sutures.

HISTORIQUE DE LA REPARATION NERVEUSE

1870 : PHILIPEAUX et VULPIAN tentent chez un chien, de greffer sur le gland thyroglosse un tronçon du nerf lingual. Le premier essai fut un échec, mais ils réussirent en 1879 (77).

1887 : ALLERT rapporte la première utilisation clinique d'une homogreffe prise sur un membre amputé, pour réparer sur trois centimètres un nerf médian.

1920 : HUBERT (44) rapporte des résultats favorables d'autogreffes nerveuses.

1932 : BALLANCE et DUEL (5) estiment en utilisant des autogreffes pour réparer le nerf facial, que c'est là une bonne méthode de réparation.

BUNNEL, BOYES en 1939 (20), SANDERS en 1942 (32), arrivent au même résultat.
A partir de la seconde guerre mondiale, de nouvelles techniques vont voir le jour.
Le Tantale, substance inerte, devait éviter les phénomènes réactionnels ; mais avec le temps, on se rendit compte qu'il se fragmentait, et par son effet irritatif, provoquait la fibrose.

1945 : SINGER (86) colle par un coagulum de fibrines, les deux tronçons nerveux, cette technique reprise par INDAR (1959) et SNYDER (1968), fut abandonnée car on constatait un barrage au passage des axones.

1956 : CAMPBELL (23), (67), utilise d'abord des membranes millipores, puis une substance élastique inerte, le silastic. La fibrose due à l'imprégnation de la membrane par du calcium dans le premier cas, et le névrome consécutif à la compression du nerf dans le deuxième cas, lui fit abandonner successivement ces deux techniques.

1960 : JACOBSON et SUAREZ définissent les microinstruments et le matériel de microsuture adaptés à la microchirurgie. Le microscope opératoire est déjà utilisé depuis 1921 (NYLEN). Dès lors, les microsutures et greffes nerveuses reprennent tout leur sens.

1964 : MICHON et MASSE (61) introduisent la notion de suture fasciculaire.
"*Le tronc nerveux est une entité chirurgicale par trop grossière et il doit être possible de le considérer comme un ensemble de fascicules définis, dont chacun mérite une suture pour soi*".

1967 : MILLESI, GRANGLBERGER et BERGER (64) introduisent une autre notion : celle de greffes fasciculaires. Pour eux, la greffe nerveuse est supérieure à la suture simple sous tension.

1970 : BOURREL (11) propose la suture mixte épipérineurale dont il rapporte les résultats en 1979 (16).

1975 : SAMII (81) et ces auteurs préconisent devant toute perte de substance nerveuse la greffe fasciculaire quasi systématique.

1976 : GUEGAN (39) met en évidence la supériorité de la suture imperméable sur le simple rapprochement des tronçons nerveux.

1977 : TAYLOR (90, 99) réalise des greffes nerveuses vascularisées.

1ère PARTIE

LE MATERIEL DE MICROCHIRURGIE

NECESSITE DE LA SPECIALISATION DU CHIRURGIEN ET DU SERVICE

1 - LE MATERIEL DE MICROCHIRURGIE

1.1 - Le microscope est la pièce maîtresse de l'unité de microchirurgie. Cependant, d'autres appareils moins performants ont été utilisés, mais ne conduisent qu'à une semi-microchirurgie.

- la loupe : une grosse lentille maintenue dans un cadre doté d'une source lumineuse. Un bras articulé soutient le tout. Le grossissement ne dépasse pas trois fois.
Avantages : bon marché - simple
Inconvénients : faible grossissement.

- les lunettes grossissantes sont formées d'une visière sur laquelle s'adaptent différents verres grossissants allant de 1,5 à 5 fois. Le champ et la distance frontale seront d'autant plus grands que le grossissement sera faible.
Avantages : bon marché - simple
Inconvénients : fatigantes à l'emploi.

- le microscope opératoire :

1.1.1 - rappel des différents types de microscopes opératoires : le premier fut conçu en 1952 par la compagnie Carl Zeiss, suivie en 1961 du diploscope, qui par un prisme central, permettait à deux chirurgiens d'opérer en même temps, chacun pouvant choisir son propre grossissement. A partir de ce modèle, un microscope avec zoom électronique fut créé en 1967, avec double pédale pour le foyer et le grossissement.
En 1973, le Zeiss triploscope est mis au point.
Actuellement, plusieurs entreprises commercialisent des microscopes opératoires : Zeiss - Wild - Leitz - Nachet...

1.1.2 - différentes parties du microscope opératoire :

il comprend : - un corps
- un statif
- un éclairage
- des moyens de commande
- des accessoires

Le corps contient toujours le système optique et souvent une source lumineuse. Le système optique comporte :

. des objectifs à distance focale variable (de 15 à 400 mm). Ainsi, quand la focale diminue, la profondeur de champ augmente, tandis que le grossissement diminue. Le plus utilisé est un objectif de 200 mm de focale.

. des tubes binoculaires adaptables à l'écartement des yeux par des bagues. Parfois, des oeillères souples réversibles protègent les verres de lunettes ou les yeux et permettent un meilleur contact avec les oculaires. Leurs focales sont de 125 à 160 mm. Ils sont réglables de +8 à -8 dioptries, suivant l'opérateur.

. les changeurs de grossissement : le plus souvent, 5.8.12,5.20.32, le grossissement donné étant fonction de l'ensemble des éléments présents dans le microscope.

. des possibilités de contrastes différentes : rouge, bleu. Sur les microscopes opératoires les plus perfectionnés, le zoom remplace l'objectif et le changeur de grossissement. Ceci permet une variation entre les grossissements maximaux et minimaux. Il est commandé soit à main, soit électriquement à partir d'une pédale.

Le statif maintient le microscope au-dessus du champ opératoire grâce à un bras articulé et à un support. Le bras est en général formé de deux parties mobiles qui permettent le centrage. Parfois, le corps est inclinable dans les deux plans verticaux.
Le support ou colonne de microscope peut être fixé au plafond sur un mur, une table ou dressé sur un pied. Le centre de gravité de l'appareil étant haut placé, le pied doit être particulièrement lourd ; sur certains, il existe un contre-poids progressif.

L'éclairage est constitué par une source lumineuse froide, disposée latéralement (spots additionnels) ou intégré au corps du microscope (éclairage coaxial, conducteurs flexibles de lumière). Le scialitique est inutile au temps microscopique et constitue une source de lumière parasite. Certains chirurgiens travaillent dans le noir.

Les moyens de commandes électriques concernent la mise au point, le grossissement et les faibles déplacements du corps dans un plan horizontal. Ces trois commandes sont le plus souvent à pied.

Les accessoires caméra et appareil photo peuvent s'adapter à certains microscopes. Nous préciserons plus loin les conditions nécessaires à la micro-photo.

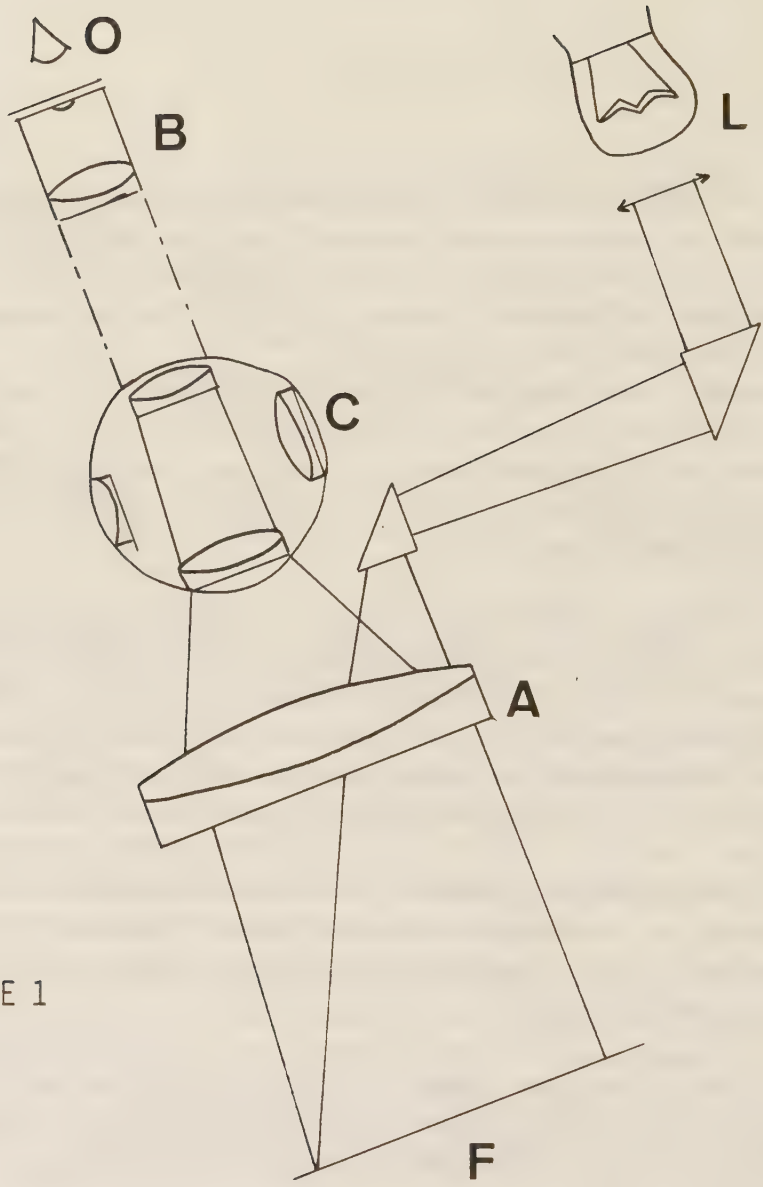


FIGURE 1

SCHEMA DU MICROSCOPE OPERATOIRE.

O OBSERVATEUR **B** OCULAIRE **C** OPTIQUE INTERMEDIAIRE COMMUTABLE A FOCALE VARIABLE **A** OBJECTIF, DONT LA CONVERGENCE DETERMINE LA DISTANCE FRONTALE **AF** LE FAISCEAU D'ECLAIRAGE ISSU DE LA LAMPE **L** EST CONFONDU AVEC LE FAISCEAU DE VISEE.

1.1.3 - microscope et aseptie : l'utilisation d'un tel appareil au-dessus du champ opératoire pose quelques problèmes. Certains chirurgiens enveloppent le microscope dans des champs stériles qui sont éventuellement taillés sur mesure comme des habits. L'efficacité du refroidissement et la durée de vie des lampes peuvent s'en ressentir. Les constructeurs préconisent l'utilisation des housses stériles fenêtrées pour les oculaires et l'objectif, ou bien de capuchons stérilisables s'emboitant sur tous les boutons. Dans la housse, on peut placer des comprimés de Trioxyméthylène, qui se décomposeront en formaldéhyde (formol). Cependant, ce formol risque d'être irritant pour les yeux.

1.1.4 - facteurs guidant l'achat du microscope : Avant tout, le microscope doit être robuste, stable et d'un fonctionnement simple. De plus, la présence de tubes inclinés, une bonne mobilité, une distance de travail supérieure à 16 centimètres, un grossissement suffisant allant de 25 à 40 fois, une bonne luminosité (grâce à un éclairage coaxial) sont autant de facteurs qui rendent le travail agréable.

1.1.5 - mise en place du microscope : réglage et entretien. Le bon déroulement de l'intervention dépend du confort de l'opérateur. Il est moins fatigant d'opérer assis. Une mise au point sommaire est faite, puis on règle le siège (à piston pour plus de commodité), de telle façon que la fatigue nucale soit minimale. On peut aussi relever la table d'opération pour amener le champ opératoire dans le plan focal.

FOUCHER (33) conseille de :

- réchauffer les oculaires de façon à éviter la buée.
- rabattre une éventuelle collerette de caoutchouc pour les porteurs de lunettes.
- régler l'écartement pupillaire.
- vérifier l'état des loupes et l'éclat des lentilles (le formol est nuisible pour la colle des lentilles).
- enfermer le corps du microscope dans une housse après chaque utilisation.

1.1.6 - la microphotographie : le matériel

. oculaire 12,5 ou 10, les faibles oculaires permettent de se rapprocher du grossissement et du champ visuel de l'appareil photo.

. un sélecteur 50 % (et même 70 %) qui permet de faire des photos avec 50 % de la lumière fournie par la source lumineuse froide. Les photos sans flash sont alors possibles. Ce sélecteur permet également une mise au point directe par l'appareil photo.

. une lentille additionnelle x 2, car le grossissement obtenu au niveau de l'appareil photo est en fait très faible.

. un appareil photo avec sa bague spéciale d'adaptation.

. un flash de puissance moyenne permettant de raccourcir les temps d'exposition et par conséquent d'éviter les flous cinétiques. Le flash est fixé au

microscope ; l'angle pouvant être choisi, donc la réflexion lumineuse diminuée.

. un déclencheur souple pour éviter les micromouvements. On peut utiliser aussi le retardateur (10 s).

. des films : nous avons personnellement utilisé différents types de films et seuls les films Ecktachrome 160 ASA donnent de bonnes diapositives (avec un développement poussé de 400 ASA à 800 ASA).

Les réglages

La mise au point est facile grâce au sélecteur.

Les constantes photographiques sont indépendantes de la durée d'exposition (généralement 1/60 s), car c'est l'éclair du flash (1/2000 s) qui limite l'exposition. Elles dépendent :

- d'éléments constants pour le même matériel, la puissance du flash et la distance flash-objet ; la sensibilité du film.
- d'éléments variables :

Le grossissement : s'il augmente, l'intensité lumineuse diminue (certains microscopes possèdent des éclairages surpuissants qui évitent cet inconvénient).
L'ouverture, qui nécessite un étalonnage à chacun des grossissements. Plus l'ouverture est grande, plus la profondeur de champ est faible. Un film d'essai est alors nécessaire.

1.2 - les micro-instruments

1.2.1 - problèmes généraux causés par l'instrumentation de microchirurgie :

La microchirurgie demande des gestes précis et mesurés. L'amplitude des mouvements à effectuer doit être aussi réduite que possible, pour éviter par une traction intempestive sur les champs opératoires, des catastrophes au niveau de la microsuture. Rien n'est plus à craindre que d'entrainer avec une compresse, un fil adhérent. Tout mouvement important doit être précédé d'un temps d'observation durant lequel on s'assurera qu'on ne court aucun risque. Pour limiter le nombre des mouvements et leur amplitude, on doit utiliser le minimum d'instruments et les placer dans un plateau spécial au plus près de la suture. Depuis ces dernières années, le nombre de microinstruments a considérablement augmenté. Le prix de ceux-ci étant souvent en rapport avec leur sophistication, qui ne nous semble pas toujours indispensable. Certains microchirurgiens proposent d'utiliser des pinces de joailler, beaucoup moins chères. Il est possible de leur donner une section circulaire en apposant sur chaque branche une colle à prise rapide (colle au silicone). Lorsque la colle est durcie, on peut aisément la retailler.

1.2.2 - les principaux instruments : (fig. 2)

Ils doivent être (7,74) - d'une fabrication précise
- simples et durables
- d'une longueur correcte pour donner un bon support (10 cm environ)
- avec une bonne prise

- avec une section circulaire pour éviter la mobilisation du poignet

- très légers pour éviter la fatigue. Ces instruments utilisés (fig. 2) sont parfaitement superposables à ceux utilisés en microchirurgie vasculaire.

- un porte-aiguille droit, sans système à cliquet générateur de mouvements parasites au moment de l'ouverture

- une paire de ciseaux courbes types Millesi

- une pince à nouer le filament avec plateaux

- une pince à microdissections avec plateaux

- un irrigateur en silicone stérilisable avec canules d'irrigation, soit à bout olivaire, soit à bout aplati

des plaques de silastic en couleur (jaune ou bleu) pour visualiser les sutures

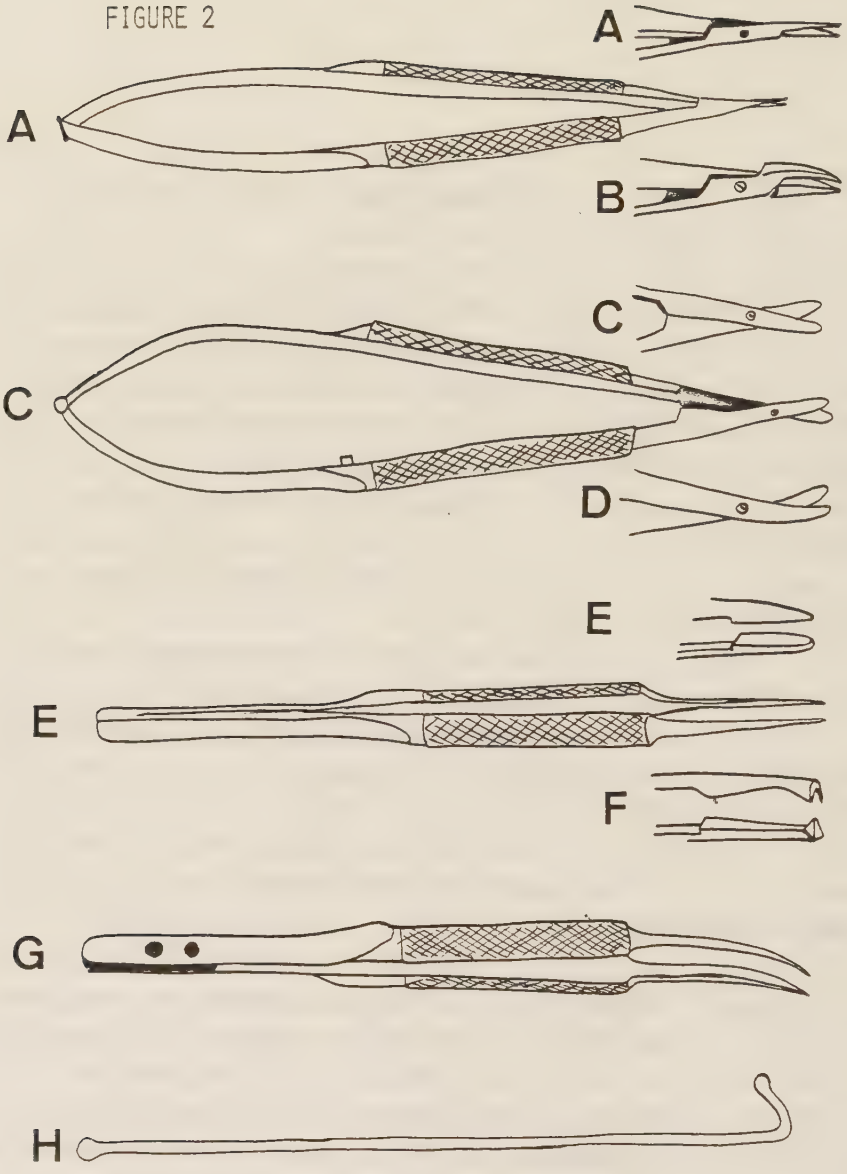
Il faut cependant ajouter :

- un appareil à coagulation bipolaire mis au point par MALIS (1956) qui permet de coaguler les microvaisseaux gênants lors de la dissection du nerf, et qui risquent d'entrainer des phénomènes de compression. La coagulation bipolaire a comme avantage de ne pas diffuser de courant en-dehors du champ situé entre les deux extrémités de la pince.

- un stylet courbe et mousse pour tendre plus facilement le nerf lors de la dissection

- une paire de ciseaux droits crantés pour éviter le glissement de fascicules sous la coupe

FIGURE 2



PRINCIPAUX INSTRUMENTS DE MICROCHIRURGIE.

A Porte-aiguille à mors droits **B** Porte-aiguille à mors courbes d'O'BRIEN **C** Microciseaux à lames droites crantées **D** Microciseaux à lames courbes, mousses, non crantées **E** Pince à nouer le monofilament avec plateaux **F** Pince à microdissections (1x2 dents) avec plateaux **G** Pince à électrocoagulation bipolaire courbe **H** Stylet courbe et mousse

- un bistouri avec lame n° 15 très fin, ou une lame de rasoir pour les endoneurodissections rendues difficiles par l'abondance de l'épinèvre.

- une pince courbe

- un clamp s'avère souvent nécessaire au bon affrontement des extrémités et surtout pour la pose du point postérieur. Les clamps de microchirurgie vasculaire écrasant le nerf, VAN BEEK (96) propose un "*approximateur*" (fig. 3) dont le seul désavantage est de pincer l'épinèvre. GIRAUDEAU (36) propose des clamps tubulaires (fig. 4) qui sont utilisés normalement dans la chirurgie des trompes. Une micropointe fixée de chaque côté du clamp évite le glissement du nerf. Notamment, lors du retournement.

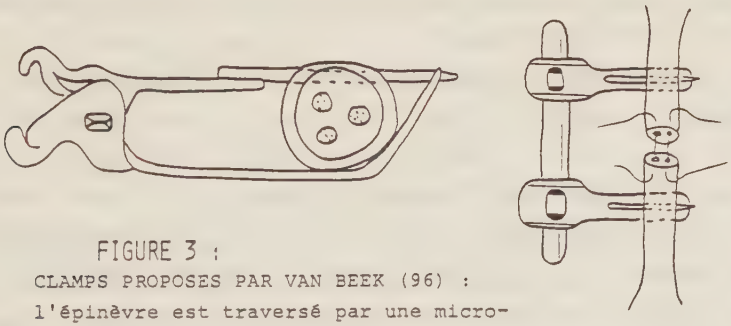


FIGURE 3 :
CLAMPS PROPOSES PAR VAN BEEK (96) : l'épinèvre est traversé par une micropointe qui évite la rotation.

FIGURE 4 :
CLAMPS DE WINSTON (36) auxquels on a ajouté deux micropointes pour éviter le glissement du nerf.

Afin de faciliter le repérage fasciculaire sur les tranches de sections, on utilisera du bleu de méthylène.

1.2.3.- leur entretien :

Durant l'opération, il faut prévoir un flacon à large col rempli de chlorure de sodium isotonique. Le sang coagulé ayant tendance à s'accumuler au niveau des axes et entre les mors, il suffira d'y tremper les instruments afin d'éliminer ce sang.

Après utilisation, les laver à l'eau et au savon
les rincer
les sècher soigneusement
huiler à l'huile siliconée les parties en frottement (charnières des pinces par exemple). L'emploi de petits tubes en plastique aux extrémités des instruments limitera l'effet des chocs.

La stérilisation pourra se faire avec des comprimés de trioxyméthylène.

1.3 - le matériel de microsuture

1.3.1 - les aiguilles : le diamètre de l'aiguille est l'un des facteurs les plus importants. C'est de lui et non de la taille du fil que dépend le traumatisme pariétal. Dans ce but, BUNCKE, en 1966, puis O'BRIEN en 1970, ont tenté de fabriquer des fils durcis à leur extrémité par électrolyse. Ceux-ci devenant assez rigides pour remplacer l'aiguille. Néanmoins, certains industriels arrivent par un affutage sous microscope à réaliser des aiguilles très fines. L'aiguille est individualisable d'après différents paramètres :

forme : 1/2 3/8 1/4 de cercle
arc : 3,5 à 6 millimètres

diamètre : 50 à 200 microns
angle : 135 à 180 degrés
pointes : rondes, triangulaires (à éviter) ou spatulées (n'ayant que peu d'indications, en-dehors de l'ophtalmologie).
Les aiguilles 3/8 de cercle, de 50 microns de diamètre et de 4 à 5 millimètres sont les plus employées.

1.3.2 - le fil : les facteurs qui guident le choix d'un fil sont les mêmes qu'en macrochirurgie ; mais ils revêtent une importance plus grande.

. la longueur : de 10 à 30 centimètres, l'idéal étant de 10 centimètres, car une longueur excessive rend difficile la formation du noeud sous le microscope, et l'on est toujours surpris par la disparition du fil du champ visuel.

. le diamètre du fil : bien que certains microchirurgiens entrainés utilisent du douze-zéro, (14 microns) (14), les fils neuf-zéro et dix-zéro (35 et 25 microns) sont suffisamment fins car les aiguilles sont toujours trop grosses (2), (25), (33), (73), (83) ; la réaction tissulaire est toujours proportionnelle au diamètre du fil.

. la nature du fil : c'est surtout d'elle que dépend la qualité de la suture, du noeud.
On retient (88) - la résistance à la traction
- l'état de la surface du fil (coefficient de friction)
- l'élasticité (cf diagramme)
- la souplesse ("mémoire")
- la visualisation du fil
- la réaction des tissus

Le nylon, longtemps utilisé, se voit peu à peu remplacé par le polypropylène (prolène ND) qui est beaucoup moins adhésif, plus élastique et possède une moins bonne "*mémoire*" (38) (42) (83).

. stérile ou non stérile : le prix est un facteur limitant à l'achat de fils stériles (50,00 frs pièce pour un fil non stérile). Le trioxyméthylène peut alors rendre bien des services au vétérinaire.

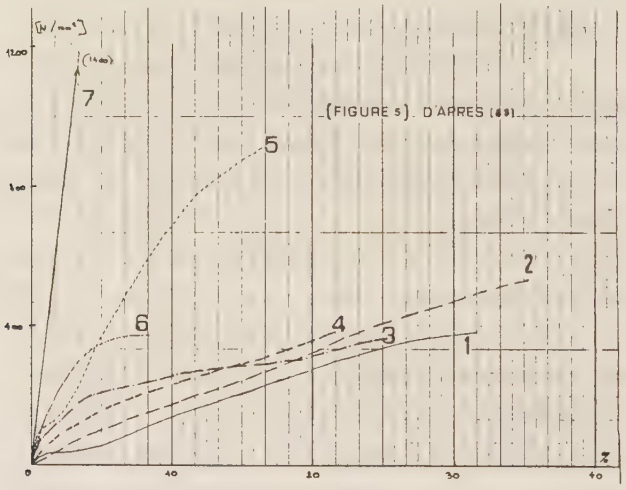


Diagramme d'élongation (%) en fonction de la force exercée sur la fibre (N/nm2) jusqu'à rupture (d'après (42).

1 Poliamide 6,6 (Ethilon ND) 2 Propylène (Prolène ND) 3 Polyester (Mersilène ND) 4 Collagène 5 Acide polyglycolique (Vicryl ND) 6 Soie vierge 7 Acier.

1.3.3 - nomenclature : les paramètres que nous venons d'énoncer montrent combien est difficile le choix. O'BRIEN a proposé de donner successivement la taille de l'aiguille, la marque, la longueur, la courbure de l'aiguille, et enfin, la taille du fil.
Ainsi, l'Ethylon B.U.6 devient le 7.E.4.3.22, c'est à dire

70 microns de diamètre pour l'aiguille

E pour Ethylon

4 millimètres pour la longueur de l'aiguille

3/8 de cercle pour l'aiguille

22 microns de diamètre pour le fil.

2 - NECESSITE DE LA SPECIALISATION DES CHIRURGIENS ET DU SERVICE

Une grande maitrise de soi et une grande patience sont des qualités indispensables pour pratiquer la microchirurgie, et si cette discipline ouvre des horizons nouveaux, elle exige beaucoup en contre-partie de l'opérateur : l'utilisation de fils plus fins que des cheveux demande une habileté dans l'éxécution des gestes hors de mesure avec la chirurgie courante. L'opérateur doit redouter la fatigue, et l'on voit comme il est difficile de concilier cette spécialisation avec le surmenage quotidien. L'intervention se prépare par une période de repos, et le chirurgien doit éviter tout effort musculaire, en particulier s'abstenir de soulever des poids. Il doit être particulièrement bien entrainé. Nous savons tous par expérience qu'après une longue période d'inactivité, nos gestes ont perdu de leur subtile précision ; (nous nous surprenons à casser les fils en serrant les noeuds). BUNCKE H. conseille quelques sacrifices (33) :

- pas d'alcool
- pas de café
- un nombre suffisant d'heures de sommeil
- pas d'exercices violents
- pour la cigarette, s'il est préférable de s'en abstenir, on ne doit pas arrêter brusquement, car les tremblements sont fréquents.

2.1 - la position du micro-chirurgien

Trois facteurs entrent en jeu :
- le microscope
- la table
- le siège

Pour éviter le tremblement, le bord cubital des avant-bras de la main et des deux derniers doigts doivent être stabilisés et reposer sur la table. Certaines tables sont aménagées spécialement ; larges et avec une excavation, elles permettent un appui à hauteur de la suture (un champ chirurgical roulé par exemple). Seuls les trois premiers doigts sont actifs (le pouce, l'index, le majeur) agissant sur les instruments selon des mouvements de rotation et non de translation, d'où l'utilisation de manches cylindriques. Les mains doivent se trouver à 45°. En cas de gestes très précis, deux procédés (33) peuvent arrêter une trémulation :
- soit une mise en contact des deux mains par l'extrémité du troisième et du quatrième doigt
- soit le croisement des instruments tenus dans chaque main.

2.2 - l'apprentissage et l'entrainement :

2.2.1 - sur tube de silicone (Silastic ND)

Avant de se lancer dans des opérations dont le résultat sera compromis par l'inexpérience, mieux vaut apprendre sur du matériel inerte. Un tube de silicone de un millimètre de diamètre fait très bien l'affaire. Tendu à l'aide de deux épingles sur une planche de bois, un double clamp est appliqué sur la partie moyenne, les deux mors étant séparés d'un centimètre environ. Le tube est ensuite sectionné bien transversalement dans la partie moyenne et, du fait de l'élasticité, du silicone, il est nécessaire de rapprocher les deux clamps. Le nombre et la répartition des points se feront selon diverses possibilités (33) :

- la biangulation de COBETT qui consiste à diviser le cercle en trois fois 120°.

- la traction de proche en proche.

Lorsque l'on passera sur le nerf, ces deux types de suture seront à éviter. En effet, le deuxième point doit être diamétralement opposé au premier, sinon les fascicules sortent de leur gaine tels la pâte dentifrice de son tube (36). Les deux premiers points se placeront selon un plan vertical (suture polaire) ou horizontal (suture équatoriale) (9). D'après FOUCHER (33), la suture polaire est préférable à l'équatoriale, qui facilite souvent la formation d'une *"méduse"*.

2.2.2 - passage sur des animaux d'expérience :

Après cette première période, qui peut durer de une à deux semaines selon les aptitudes, à raison d'une séance par jour, le futur micro-chirurgien peut passer sur des animaux d'expérience : le rat et le lapin.

- le rat présente les avantages d'être peu onéreux, peu fragile (les mâles sont plus solides que les femelles), facile à nourrir et à loger.

- l'anesthésie peut se réaliser de deux façons :

- soit au pentobarbital sodique en intrapéritonéal (IP) à la dose de 20 à 30 mg/100 g de poids vif (P.V.). Les morts sont fréquentes.
- soit à la Kétamine (Imalgène (ND) en intramusculaire (IM) à la dose de 30 à 100 mg/animal, plus 10 mg à la demande.

- le lapin n'a pas tous les avantages précités mais reste d'un abord interessant.
- l'anesthésie : Imalgène (ND) 150 à 300 mg par animal plus 50 mg à la demande.

On s'entrainera sur les sciatiques externes (SPE) et internes (SPI) de ces deux animaux.

2EME PARTIE

RAPPEL SUR LA STRUCTURE DES NERFS PERIPHERIQUES.

DIFFERENTS ASPECTS DU TRAUMATISME NERVEUX.

1 - RAPPEL SUR LA STRUCTURE DES NERFS PERIPHERIQUES

Structure des nerfs périphériques

Sur une coupe anatomique (9), on distingue (fig. 6) :

- un manchon principal de protection mécanique, l'épinèvre (épineurium), composé d'un réseau assez compact de fibres collagènes qui s'étend en profondeur pour diviser le nerf en faisceaux, portant le nom de fascicules.

- chaque fascicule nerveux est lui-même entouré d'une couche de fibres de collagènes et de fibres élastiques formant le périnèvre (périneurium).

- à l'intérieur de ces fascicules nerveux, se trouvent les fibres nerveuses, myéliniques ou amyéliniques, séparées les unes des autres par des septa conjonctifs, de sorte que chaque fibre est à son tour entourée par une gaine conjonctive propre : l'endonèvre au contact de la membrane basale.

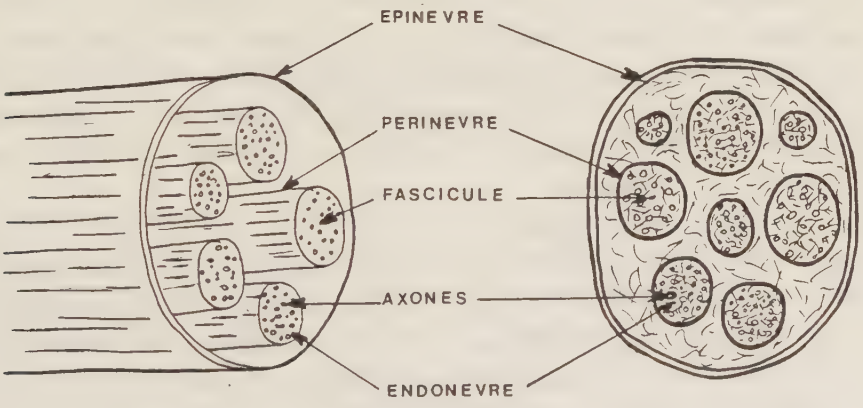


FIGURE 6 : STRUCTURE DU NERF PERIPHERIQUE
D'APRES (25)

1.1 - la fibre nerveuse :

C'est l'élément essentiel du nerf périphérique. Fibre conductrice, extrémement longue par rapport au corps cellulaire, c'est l'axone, prolongement cylindraxique du corps cellulaire, le neurone.

Certains axones se recouvrent d'une mince écorce cytoplasmique multinuclée, ce sont les fibres des REMAK ou fibres sans myéline. Les autres sont engainées par une substance grasse : la myéline ; ce sont les fibres avec myéline ou myéliniques. Ces fibres myéliniques constituent la grande majorité des nerfs périphériques où elles voisinent avec des fibres amyéliniques en beaucoup moins grand nombre.

L'axone ou cylindraxe est donc le prolongement du corps cellulaire. Sa longueur est considérable, jusqu'à un mètre chez l'homme (57), et son volume peut atteindre 200 fois celui du corps cellulaire (sans la gaine de myéline). Son cytoplasme contient une substance neuroplasmique ou axoplasme (gel semi-liquide), des filaments ainsi que des neurotubules. Ces deux types d'éléments ont une forme en tube comparable à des pipes-lines et selon toute probabilité, ils en ont la fonction (8). L'axone est entouré d'une gaine propre, l'axolemme.

La cellule de SCHWANN :

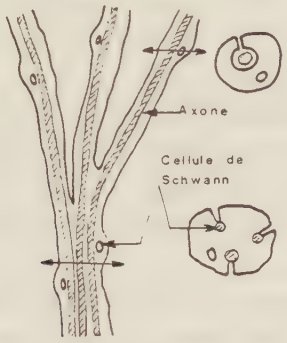
Toutes les fibres nerveuses périphériques en sont entourées. D'origine neuroépithéliale, elle contracte des relations avec chaque fibre nerveuse. Pour les fibres nerveuses myéliniques, il n'y a toujours qu'un axone entouré d'une cellule satellite, tandis que pour les fibres amyéliniques, nous trouvons trois possibilités (fig. 7) :

- un seul axone est entouré d'une cellule satellite.
- plusieurs axones se trouvent dans une seule cellule satellite, envoyant des pseudopodes autour de chaque axone.

- un ou plusieurs axones sont entourés de deux ou plusieurs cellules satellites.

La fonction principale de la gaine de SCHWANN est la formation de la gaine de myéline.

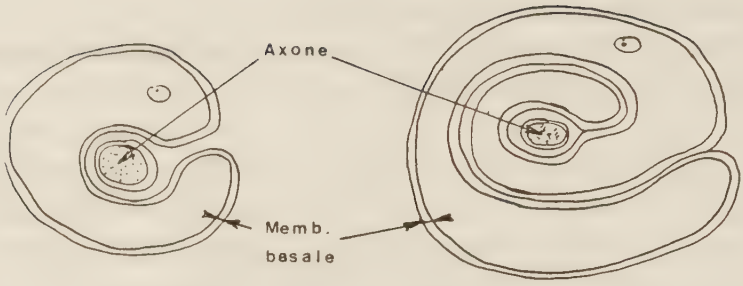
FIGURE 7



FIBRES SANS MYELINE D'APPES (55)
(neurones végétatifs post-ganglionnaires et leur gaine de SCHWANN.)

La gaine de myéline (production lipoprotéinique), comporte des lamelles ordonnées en spirale régulière. Celles-ci se forment à partir de la membrane cytoplasmique de la cellule de SCHWANN qui s'invagine (fig. 8) formant le mésaxone qui enveloppe l'axone à la manière d'une spirale (fig. 9).
Se constitue ainsi la gaine de myéline. Les cellules de SCHWANN sont disposées en chaine le long de la fibre nerveuse. La gaine de myéline dont elle dépend n'est donc pas continue. Elle est formée de segments correspondant à chaque cellule de SCHWANN.

FIGURE 8



ENROULEMENT DE LA CELLULE DE SCHWANN D'APRES (55)
La membrane de la cellule gliale forme un grand nombre de tours autour de l'axone. La myéline est un empilement de feuillets membranaires. *"en gâteau roulé"*

Entre deux segments, on trouve une courte zone non gainée, le noeud de RANVIER.
Enfin, les cellules de SCHWANN sont séparées du tissu conjonctif par la membrane basale, qui est continue.

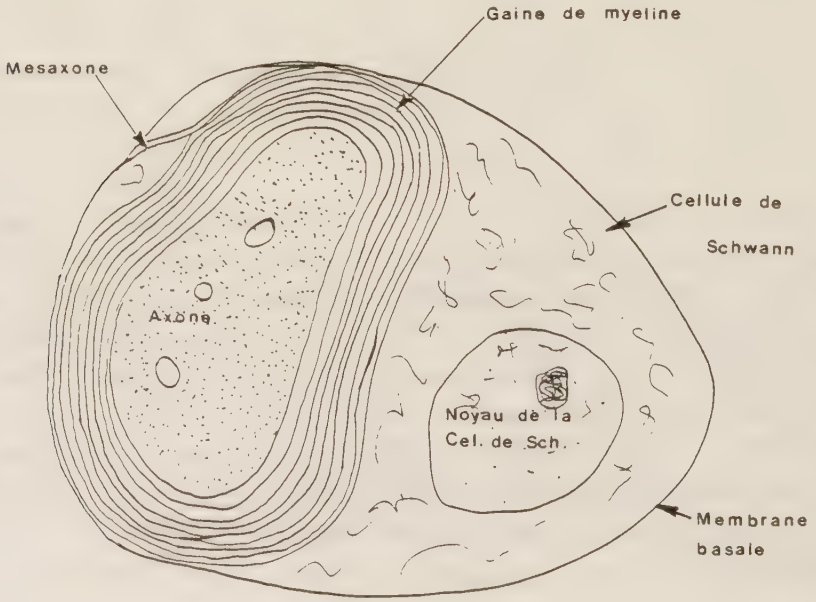


FIGURE9 : FIBRE MYELINIQUE (Coupe transversale) D'APRES (8)

1.2 - le tissu de soutien : 30 % du nerf (98), il est représenté par l'épinèvre, le périnèvre et l'endonèvre. Tous les trois possèdent une structure particulière adaptée à des fonctions particulières.

1.2.1 - l'épinèvre : véritable manchon de protection, il entoure les fascicules et comprend tout le tissu conjonctif extérieur au périnèvre. A la surface du nerf, il s'épaissit, séparant celui-ci des éléments environnants. Il se compose de fibres élastiques et collagènes disposées circulairement, mais surtout longitudinalement, tressées à la manière d'un treillis. Sa densité, 30 à 75 % du nerf, varie de façon importante selon les individus et les espèces (rat 30 %, chien et lapin 55 % (43)), les nerfs mais aussi le niveau même du nerf considéré : plus dense au niveau des articulations et d'autant plus important que le nombre de fascicules est élevé (SUNDERLAND 1965 (87)).
La fonction de l'épinèvre, grâce à cette répartition et à la disposition en treillis, sert essentiellement lors des allongements dus aux mouvements des membres.

1.2.2 - le périnèvre : il entoure chaque fascicule,d'un manchon fin mais dense de tissu fibreux. Il se compose de cellules plates, en une ou plusieurs couches, dont le nombre est fonction de l'épaisseur du fascicule. Ce tube périneural est renforcé par des fibres collagènes disposées longitudinalement et obliquement autour du fascicule.
Deux fonctions lui sont attribuées :

- l'une de protection des fibres nerveuses entourées

- l'autre de barrière de diffusion puisque le milieu endoneural est en rapport avec le liquide céphalorachidien, alors que le milieu extra-fasciculaire est identique au sérum sanguin du point de vue biochimique (BISCHOFF).

D'autre part, les fibres de collagène , par la pression qu'elles exercent sur les fascicules, provoquent lors de la section du nerf, l'extériorisation des fibres.

1.2.3 - l'endonèvre : il forme un manchon autour de la fibre nerveuse. Il est constitué d'une mince couche de tissu conjonctif, formée de fibres collagènes disposées longitudinalement le plus souvent. L'axone, la gaine de myéline et la cellule de SCHWANN constituent un tube : le tube endoneural dont l'endonèvre constitue l'intérieur. L'endonèvre possède deux fonctions :

- celle de résister à l'étirement. En effet, les fibres nerveuses à l'intérieur du fascicule ont un trajet ondulatoire et lors d'un étirement, ces ondulations provoquées par le tissu conjonctif, amortissent l'élongation.

- avec la dégénerescence, l'axone, la myéline et la cellule de SCHWANN disparaissent, laissent un tube vide et rétréci, ou cordon de BÜGNER. Si une régénération se produit, les propriétés élastiques de l'endonèvre vont permettre la recolonisation du tube par les fibres nerveuses.

En conclusion, la fonction principale du tissu conjonctif est celle de protection mécanique au niveau de l'épinèvre. On trouve d'ailleurs au sein du tissu conjonctif, les nerfs des îlôts graisseux particulièrement abondants dans les régions où le nerf est soumis à des pressions (SUNDERLAND).

1.3 - La vascularisation des nerfs périphériques :

Les artères nourricières abordent le nerf par un véritable méso-conjonctif : le mésonèvre. Ces vaisseaux restent longtemps parallèles au tronc nerveux (fig. 10). Ils viennent des gros troncs vasculaires et courent avec le nerf dans les loges intermusculaires. Ces artères pénètrent le nerf à différents niveaux et sont reliées entre elles par différentes anastomoses de nombre et de densité variable. Si, par exemple, les anastomoses sont peu nombreuses, pour les nerfs de la partie supérieure du membre, par contre dans la région des articulations, où les nerfs risquent d'être étirés ou comprimés mécaniquement, on contaste une prolifération des artères nourricières et des anastomoses (fig. 11).

A l'intérieur du nerf, les vaisseaux sont présents, ils y courent longitudinalement, formant de nombreuses anastomoses.

- les unes à l'extérieur de fascicules nerveux dans l'épinèvre, avec des artères et des artérioles.
- les autres, intra-fasciculaires, comprenant des capillaires avec des connexions collatérales entre les deux réseaux.

Ce réseau intra-fasciculaire est généralement fait de capillaires parallèles à l'axe du nerf, mais quelquefois, ces capillaires sont obliques ou perpendiculaires, prenant un aspect spiralé (LUNDORG). Les veines peuvent courir parallèlement aux artères ou séparément.

FIGURE 10: Mésonevre

D'APRES (79)

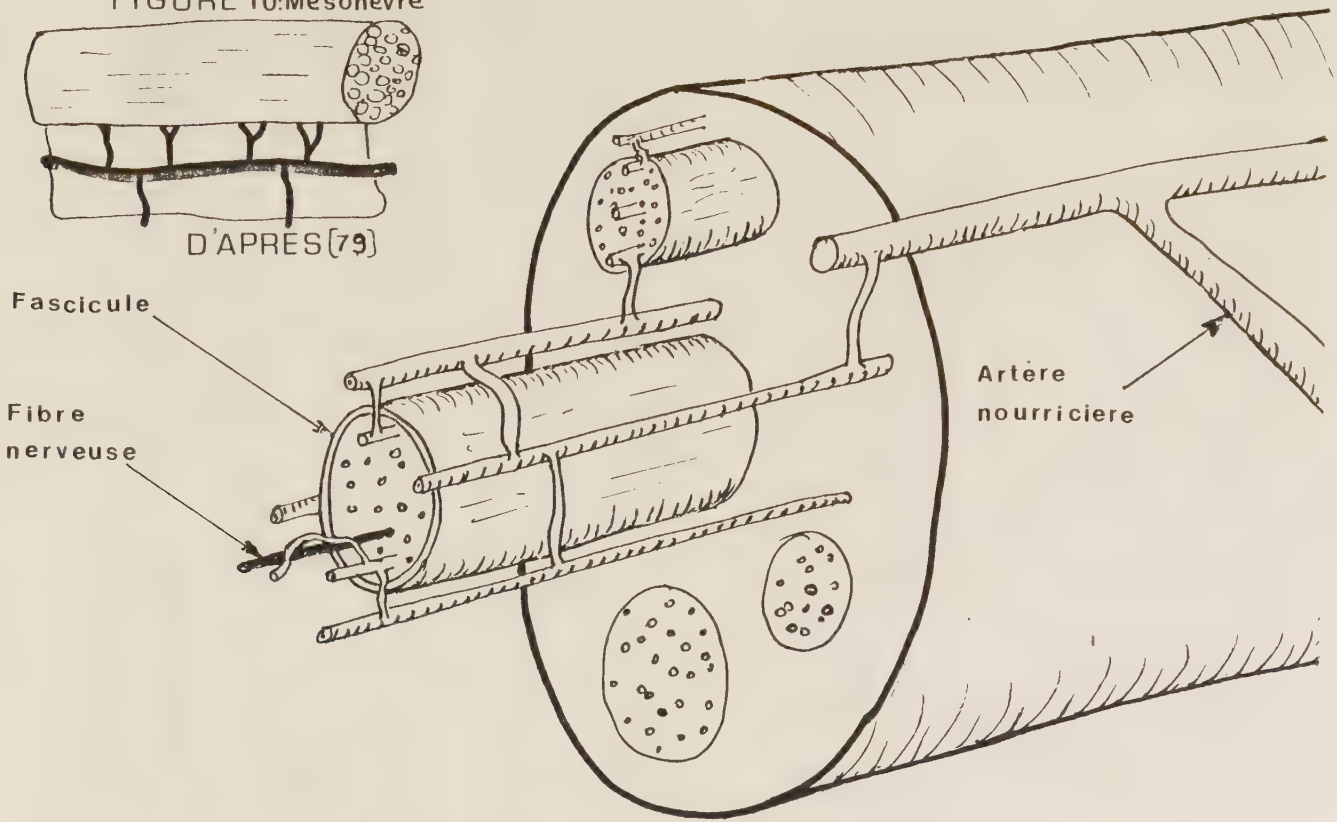


FIGURE 11: VASCULARISATION DU NERF PERIPHERIQUE
D'APRES (8)

1.4 - La notion de fascicule

Si l'on distingue à l'intérieur d'un même nerf des groupes fasciculaires bien individualisés tout le long de son trajet, (cas du sciatique), généralement, l'organisation des fibres à l'intérieur d'un même nerf est plexiforme. Les fascicules nerveux ne cheminent pas parallèlement mais au contraire, s'anastomosent entre eux, ce qui permet un regroupement des fibres. L'arrangement des fascicules à l'intérieur d'un même nerf change tous les 0,25 à 5 mm (24).* Le nombre, le diamètre et la forme même des différents faisceaux peuvent varier considérablement. Plus le nombre de fascicules augmente, plus leur taille diminue et vice-versa. Ces variations se font à l'intérieur d'un même nerf, d'un nerf à l'autre, d'un individu à l'autre (6).

Donc : + les chances de retrouver concordantes les deux surfaces coupées d'un nerf contus ou déchiré paraissent faibles.

— les fibres nerveuses de fonction différente au sein d'un nerf mixte s'entremêlent ; on ne peut les déterminer du point de vue morphologique et affirmer si dans les différents faisceaux se trouvent des fibres motrices ou sensitives.

Malgré tout, si l'on dissèque un nerf périphérique, il est possible d'individualiser plusieurs fascicules ou plutôt "*groupes*" fasciculaires entourés par un tissu conjonctif solide (fascicules anatomiques) sur lequel peuvent s'appuyer les sutures (fascicules chirurgicaux) (fig. 12).

---

* SUNDERLAND a essayé d'établir une véritable cartographie interne de chaque nerf à différents niveaux chez l'homme (87)

Un nerf médian au poignet peut être ainsi divisé en quatre à cinq fascicules d'un calibre égal ou inférieur au millimètre. Le nerf ne doit plus donc être considéré comme un tout mais comme un ensemble de ces fascicules.

D'APRES [40]

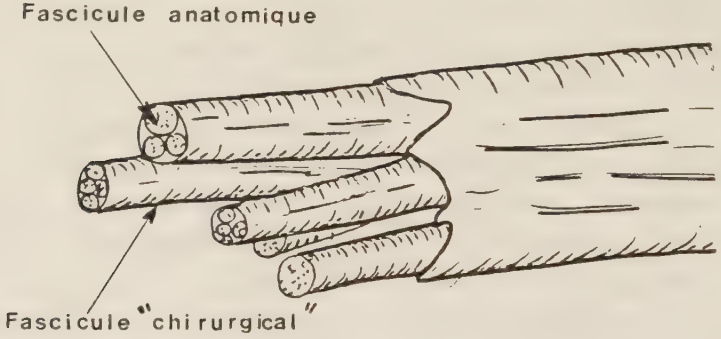


FIGURE 12: DISSECTION DU NERF EN FASCICULES "CHIRURGICAUX".

1.5 - Conséquences chirurgicales

1) le nerf, grâce à sa vascularisation interne, peut être dépourvu des vaisseaux du mésonèvre ; cela est d'autant plus interessant que le tissu conjonctif abonde autour du nerf et gêne la dissection ainsi que la pose des points. D'autre part, le réseau intrafasciculaire continue de nourrir le nerf après la section, malgré la disparition du mésonèvre.

2) il faut éviter les tractions et les tensions sur le nerf pendant l'opération et après la réparation, notamment lors de perte importante de substance nerveuse. Cette

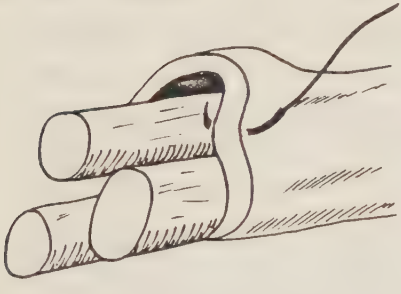
tension va gêner la circulation intraneurale, et provoquer une sclérose, et gêner la régénération (21) (23).

3) les sutures doivent interesser les fascicules chirurgicaux et s'appuyer uniquement sur le tissu conjonctif, entourant les fascicules anatomiques (fig.13). C'est la suture périneurale.

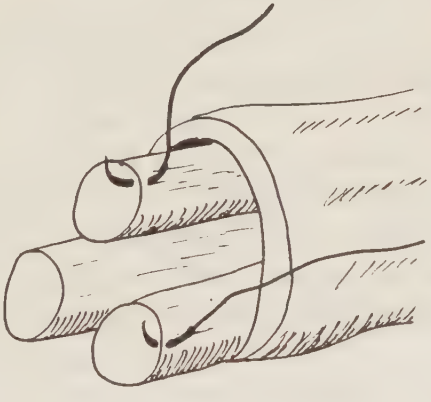
La suture épineurale est à éviter car elle favorise les erreurs d'orientation.

Cependant, si la suture périneurale est la meilleure dans l'absolu, la suture épineurale par le nombre plus faible de points de suture, qui sont autant de "*corps étrangers*", est la plus utilisée.

Nous verrons dans la 3ème partie que la suture épipérineurale (11, 14, 16) proposée par BOURREL permet une bonne orientation tout en évitant les "*corps étrangers*".



SUTURE EPINEURALE



SUTURE PERINEURALE

FIGURE 13
D'APRES (9)

2 - DIFFERENTS ASPECTS DU TRAUMATISME NERVEUX

2.1 - aspects neuropathologiques : on distingue d'après la classification de SEDDON, trois types de lésions :

le Neurotmesis
l'Axonotmesis
la Neurapraxie

2.1.1 - le Neurotmesis : l'interruption du nerf est totale, touchant à la fois les axones et leur gaine. Ce peut être la conséquence d'une section, d'un arrachement, d'une dilacération.

2.1.2 - l'Axonotmesis : l'interruption ne concerne que les axones et leur gaine de myéline, mais pas le tissu conjonctif et les gaines conjonctives.

2.1.3 - la Neurapraxie : il n'y pas de lésions morphologiques importantes. Il s'agit plutôt d'une sidération de la fonction des axones. C'est le cas habituel des neuropathies par compression.

2.2 - conséquences anatomiques et fonctionnelles de ces trois types de lésions :

. Neurotmesis :

la section d'un nerf entraîne des altérations de sa partie distale, décrites sous le nom de dégénérescence Wallérienne (WALLER 1852), et aussi de la partie proximale connues sous le nom de dégénérescence axonale (RANVIER 1876). Une régénération spontanée du nerf peut se produire.

- dégénérescence Wallerienne : l'axone, quelques heures après la section, commence à gonfler, des vacuoles apparaissent. Au deuxième jour, les neurofilaments se transforment en un matériel granulaire. Au troisième jour, les axones se rompent. Cette fragmentation, d'abord localisée

au voisinage des étranglements de RANVIER, devient ensuite diffuse et au quatrième jour, tous les axones sont désintégrés en petits fragments.
La myéline : au début, les lamelles s'écartent les unes des autres. Puis, dans les jours qui suivent, elle se rétracte et se rompt en petit segments. La structure lamellaire disparaît. Les cellules de SCHWANN sont dès le premier jour en hyperactivité, et la multiplication des cellules à l'extrémité proximale forme un renflement, un "*schwannome*".
Au bout de deux à quatre semaines, la gaine de SCHWANN, du fait de la multiplication et de l'étirement de ses cellules, de la disparition des étranglements de RANVIER, va prendre l'aspect d'un cylindre de protoplasme, d'un tube endoneural appelé cordon de VON BUGNER, qui permettra la repousse.
Au niveau de l'endonèvre et du périnèvre, il y a prolifération des fibroblastes et formation de nouvelles fibrilles de collagène.

- en amont de la section, deux phénomènes sont observés : une dégénérescence wallerienne sur quelques millimètres et une chromatolyse centrale. Le corps cellulaire se gonfle avec aplatissement et refoulement du noyau à la périphérie ; disparition des corps de NISSL, qui persistent seulement en périphérie ; c'est la chromatolyse rétrograde qui traduit une forte activité de synthèse de la cellule (58). Ces modifications disparaissent avec la régénération.

- au niveau du muscle, les conséquences de la dénervation seront représentées par :

l'atrophie musculaire qui apparait dans les premières semaines.

la fibrillation musculaire : le muscle étant dénervé, des contractions individuelles, spontanées se produisent.

des modifications au niveau de la plaque neuro-musculaire. Des fibrocytes et des fibres collagènes s'y accumulent. Elles persistent environ un an. Si la réinnervation est efficace, la fibre nerveuse reprend un contact avec la plaque. Mais, le délai entre l'arrivée des fibres nerveuses régénérées et le retour d'une activité fonctionnelle est variable, parfois très long. Il est fonction du caractère précoce et complet ou tardif et incomplet de la réinnervation.

- la régénération : la cellule dont le métabolisme cellulaire s'est accru, donne naissance à de nouvelles fibres. Ces bourgeons progressent dans les gaines de SCHWANN (cordons de BÜGNER) et recolonisent le bout distal. Si les obstacles s'interposent, la prolifération est désordonnée (caillots, muscle, graisse ou conjonctif). Il se forme un névrome du côté central par prolifération désordonnée des fascicules et gliome du côté périphérique par prolifération protoplasmique. La vitesse de régénération des fibres nerveuses est variable selon les espèces : entre un à trois millimètres par jour chez l'homme.

quatre millimètres par jour chez le rat.
deux millimètres chez le chien (98).

selon le niveau interessé (chez l'homme) : trois millimètres par jour bras et cuisses
un millimètre et demi coudes et genoux
un millimètre avant-bras et jambes
un demi-millimètre par jour pied et main.

selon les axones (98) : les axones sont remyélinisés par les cellules de SCHWANN qui gardent pendant des années un potentiel de remyélinisation. Cependant, la régénération ne sera jamais parfaite. D'une part, le nombre des fibres sera inférieur à celui du départ, et d'autre part, les erreurs d'aiguillage seront fréquentes. Ainsi, des neurones moteurs pousseront dans des tubes à destinée sensitive et inversement, tel neurone destiné à tel muscle en innervera un autre.

. Axonotmesis : il y aura dégénérescence et les modifications seront les mêmes. Mais les tissus conjonctifs n'étant pas rompus, la régénération sera plus facile, plus rapide et de meilleure qualité. Les tubes neuraux guidant les bourgeons.

. Neurapraxie : les lésions sont plus fonctionnelles que morphologiques et ses conséquences cliniques interprétées comme un défaut temporaire de conduction.

Cependant, la compression peut provoquer une démyélinisation segmentaire. Il faut environ un an en cas de lésion haute du grand sciatique chez l'homme, pour obtenir une récupération(36).

3EME PARTIE

LA REPARATION NERVEUSE

LA GREFFE NERVEUSE

1 - LA REPARATION NERVEUSE

1.1 - Facteurs de variations :

délai de la suture : la suture est dite primitive dans les 24 premières heures ; elle est dite secondaire précoce lorsqu'elle est effectuée avant le troisième mois (70) ; elle est secondaire tardive ultérieurement (2). C'est là un des facteurs de variations des plus importants. Nous l'étudierons de façon plus précise plus loin.

l'espèce : chez l'homme, sans une approximation aussi exacte que possible des deux extrémités nerveuses sectionnées, la réhabilitation distale ne se fait pas. Des études expérimentales ont été pratiquées chez les animaux les plus divers : rat (39) (59), lapin (71), chien (22) (68) (69), mouton, chèvre, maccacus Rhésus ; le lapin et le rat peuvent rétablir la continuité d'une plaie des nerfs (2) (48) (71), (jusqu'à 9 millimètres chez le lapin selon (94)). Cependant, notre expérimentation personnelle (36) sur le lapin nous a montré qu'une section complète du sciatique en partie haute entrainait entre le 25ème et 30ème jour, malgré une suture correctement effectuée sous microscope, des lésions très importantes de la patte concernée : troubles neurotrophiques avec apparition de perforants plantaires, lésions osseuses (ostéite et ostéoarthrite). Il faut donc être prudent devant les auteurs qui affirment qu'une plaie nerveuse peut être laissée sans réparation. Prescrire la suture dans tous les cas de section nous parait nécessaire si l'on veut une réhabitation rapide et complète.

lésions associées (38) : celles-ci compren-

nent les dégats loco-régionaux et en particulier cutanés, le caractère contus ou non de la plaie, les dégats vasculaires. Ces lésions associées vont entraîner la formation d'un tissu cicatriciel qui réalisera une barrière empêchant la régénération (48, 83).

l'âge : de bien meilleurs résultats (83) sont obtenus chez l'animal jeune que chez l'adulte. L'explication n'est pas claire. Il semble que ce ne soit pas tant la qualité de la régénération nerveuse qui est meilleure, mais plutôt que les possibilités d'adaptation chez le jeune sont plus grandes (2) (3) (il en est de même chez l'homme).

le siège : plus la lésion est proximale, plus le pronostic est mauvais (83). Vers la racine du membre, les fascicules sont nombreux et leur disposition complexe, donc le repérage est difficile et alléatoire. Par contre, en direction distale, le nombre de fascicules diminue, la disposition en est plus régulière et constante, le repérage devient plus assuré et l'orientation plus sûre.

1.2 - Moment de la réparation : primitive ou secondaire.

Plus le temps passe et moins bonnes sont les chances de régénération efficace, en raison de l'occlusion des gaines vides, et surtout de l'atrophie des muscles, même si les récepteurs de la sensibilité sont doués d'une survie prolongée. Mais ces phénomènes dégénératifs sont assez tardifs pour qu'il soit possible d'hésiter entre la réparation primaire, contemporaine de la fermeture de la plaie cutanée et la réparation secondaire. En effet, les structures conjonctives à l'intérieur et autour d'un nerf fraîchement sectionné sont normalement tout à fait inconsistantes. Leur appa-

rence et leur pouvoir de résistance sont bien plus faibles qu'ils ne le seraient au moment d'une réparation secondaire. La cicatrisation épaissit les lames conjonctives péri et intranerveuses, d'où un repérage de la structure fasciculaire plus facile (38).

Le risque d'infection est également moindre en chirurgie secondaire, puisque le chirurgien intervient avec le maximum de sécurité. Cependant, nous pensons que chez l'animal, la suture précoce est de loin la plus interessante. Elle permet de gagner un temps précieux sur l'apparition des ulcérations et de l'infection, conséquences de la disparition de la sensibilité (41, 78). La suture primitive se fera lors de :

- plaies nettes par coupure
- sections accidentelles d'un tronc nerveux au cours d'une intervention chirurgicale
- lésions partielles, incomplètes des troncs où la recoupe secondaire peut être délicate et la réparation tardive difficile
- présence de matériel chirurgical et d'un chirurgien expérimenté.

Il est malgré tout interessant de différer (30) de deux à trois semaines la suture (primaire différée). Cela présente comme avantages : une absence de résection des extrémités, permettant une suture sous tension physiologique, une identification fasciculaire plus facile, enfin un épaississement de l'épinèvre permettant un appui solide pour la suture.

Lors de section quasi-complète d'un membre, les temps sont les suivants (25) :

1° osseux
2° vasculaire, artériel puis veineux
3° musculaire et tendineux

4° nerveux : temps qui peut toujours être différé si l'intervention est longue, donc choquante.

1.3 - Bilan opératoire au moment de la plaie.

1.3.1 - en urgence :

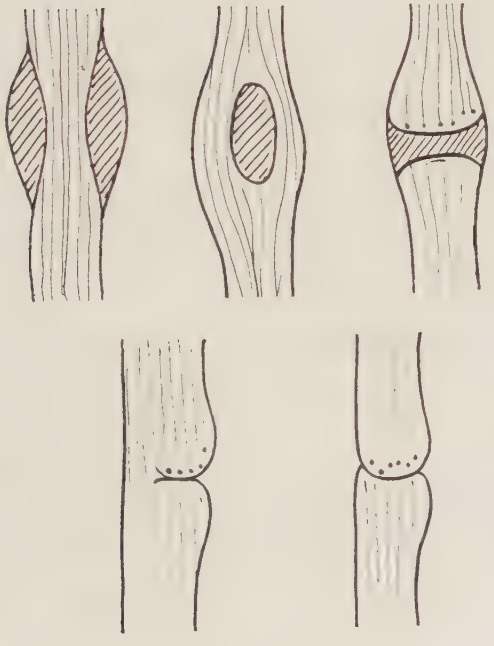
Lors de section d'un nerf périphérique, il est souvent difficile de trouver les bouts dans la plaie fraiche. Les extrémités nerveuses ont tendance à se rétracter à distance des lèvres de la plaie, du fait de l'élasticité du mésonèvre. Pour retrouver les extrémités du nerf sectionné surtout s'il s'agit d'une réparation secondaire, il faut rechercher le nerf assez loin du lieu de la blessure. On commencera la dissection en zone saine. Les extrémités nerveuses sont alors repérées avec un fil. Si la réparation nerveuse doit se faire plus tard, il faut faire le rapprochement des extrémités nerveuses avec une suture simple pour faciliter leur identification ultérieure et prévenir la rétraction. S'il existe une perte de substances nerveuses, et que les extrémités ne peuvent être rapprochées, les bouts devront être suturés au lit conjonctif ou à quelque structure fixe de façon à les empêcher de se rétracter. Tout doit être consigné scrupuleusement dans le compte-rendu opératoire, pour guider toute recherche ultérieure.

1.3.2 - en chirurgie secondaire - la neurolyse fasciculaire

si l'aspect de la lésion nerveuse est souvent sans ambiguité lors de plaies franches, dans d'autres la mise à jour de la lésion lors d'une réintervention pose certains problèmes. Les lésions dites en continuité peuvent correspondre à un

degré d'atteinte variable avec pronostic différent, suivant qu'il existe ou non une continuité réelle des gaines et des cylindraxes au sein de la cicatrice (fig. 14).
Une cicatrice interne dense justifie une recoupe complète ou partielle du nerf suivie de suture, alors qu'un fibrome cicatriciel intraneural ou périneural ne demande qu'une excision respectant la continuité des fascicules nerveux par intraneurodissection ; la différenciation de ces lésions sans une dissection fine ne se fait pas.

FIGURE 14 D'APRES (62)



Dès 1915, DELORME, DEJERINE et MOUZON en France et STOFFEL en Allemagne (11, 56) proposaient l'exploration directe du nerf et du tissu cicatriciel (la neurolyse interfasciculaire). Plus près de nous, SUNDERLAND (11) montre l'intérêt de la neurolyse fasciculaire tandis que CARAYON en 1962 (24) codifie la technique :

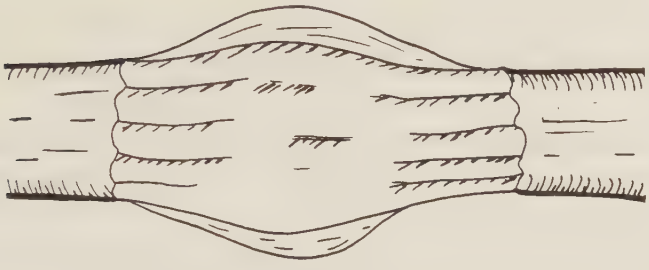
- la libération externe du nerf se fait en respectant la vascularisation juxtaneurale et intraneurale, en respectant et en clivant les rameaux collatéraux destinés au muscle voisin. Ces rameaux ont un trajet intraneural superficiel clivable sur trois à huit centimètres.

- la libération intraneurale, temps essentiel de la neurolyse fasciculaire doit tenir compte des difficultés liées à la complexité anatomique, respecter la circulation axiale. Les fascicules sont isolés dans les parties saines d'amont et d'aval, et suivis au sein du renflement cicatriciel. Lorsqu'il y a une interruption nerveuse, les fascicules perdent leur autonomie au sein de la cicatrice et s'y perdent en bouquet de faibles ramifications.

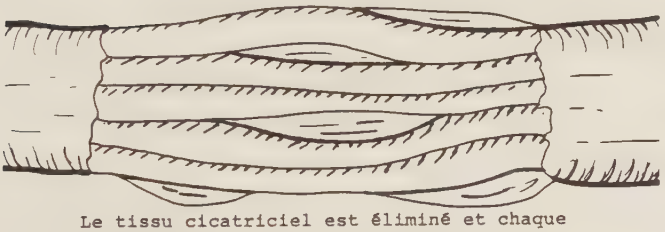
Cette dissection peut dans certains cas se faire transversalement, la cicatrice nerveuse étant maintenue sous tension, avec une lame acérée, on sectionne transversalement et progressivement, le tissu cicatriciel dur et résistant ; lorsqu'on atteint le tissu nerveux sain, celui-ci fait hernie. La dissection est ensuite poursuivie avec les mêmes précautions. On peut ainsi agir selon les types de lésions rencontrés. Pour un certain nombre de cas, le traitement est pratiquement terminé : le nerf est libéré des compressions extrinsèques et de ses propres cicatrices. Il ne reste qu'à le laisser dans un lit de tissus sains bien vascularisés : conjonctif, graisse

ou muscle. Par contre, chez d'autres patients, est posée l'indication d'une réparation nerveuse.

FIGURE 15



Les fascicules ne peuvent être individualisés et se noient dans le tissu cicatriciel.



Le tissu cicatriciel est éliminé et chaque fascicule retrouve son autonomie.

NEUROLYSE FASCICULAIRE D'APRES (45)

1.4 - Technique opératoire

1.4.1 - temps opératoire :

1.4.1.1 - préparation du lit de la suture : la plaie récente sera parée - le tissu cicatriciel ancien éliminé.

1.4.1.2 - préparation des extrémités à suturer : une recoupe est toujours nécessaire.

a) étendue de la recoupe

- pour les plaies récentes : on réalisera une recoupe de quelques millimètres, lors de plaies simples. En effet, l'association de la contusion directe par l'agent traumatisant, et de l'ischémie des extrémités nerveuses par plaies des vaisseaux nourriciers, est source de sclérose secondaire qu'il est difficile de reconnaitre d'emblée.
Cette recoupe ira jusqu'en zone saine pour les plaies contuses ou dilacérées.

- pour les plaies anciennes : si l'on observe une solution de continuité nerveuse, on réalisera la neurolyse décrite précedemment.

s'il n'y pas de solution de continuité, on pratiquera une résection par petites tranches successives jusqu'à l'apparition des faisceaux. Cette résection doit être faite sans préoccupation de la suture ultérieure car l'état des extrémités conditionnent le résultat de la suture.

b) la recoupe proprement dite

La méthode de Jean GOSSET (cité par LORTHIOIR (56)) est la plus utilisée. Le nerf est enserré dans un ruban de plastique élastique ou un ruban découpé dans une double épaisseur de gaze

à compresse humectée de sérum ; une pince contre-coudée enserre le tout. Avec une lame de rasoir mécanique, on coupe simultanément le ruban et le nerf.
Si le nerf est de faible diamètre, on peut le sectionner directement avec une paire de ciseaux crantés.
La section devra être nette et sans bavure. En effet, la section réalisée, les extrémités nerveuses se rétractent et de plus les extrémités ont tendance à "couler" à la manière d'une pâte dentifrice de son tube. Et ce, d'autant plus que l'on manipule le nerf. Il faudra donc procéder à une recoupe des fibres nerveuses de façon à présenter une tranche aussi franche et lisse que possible (fig. 16).

c) la mise en contact des extrémités : elle est nécessaire si l'on veut réaliser une suture sans tension. Divers procédés que nous détaillerons au chapitre de la greffe, sont utilisés.

- la traction sur les deux extrémités du nerf
- la dissection du tronc nerveux
- la flexion des articulations
- la transposition du nerf.

d) orientation des extrémités : on peut s'aider des vaisseaux de l'épinèvre, de l'aspect de la tranche de section, rendue plus nette grâce à l'imprégnation par une solution de bleu de méthylène diluée. LORTHIOIR (55) propose de nouer un point de repère sur le névrilemme à un ou deux centimètres des extrémités (pour permettre la recoupe).

e) la présentation des extrémités : des clamps spéciaux (36, 96) peuvent être utilisés sur les petits nerfs. Ils évitent la rotation d'un bout par rapport

à l'autre et permettent un retournement plus facile pour poser les points profonds.
GOSSET (56) propose de stabiliser les deux extrémités par un fil de nylon de 1/10 mm de diamètre qu'il introduit dans la partie proximale à 15 mm de la section, le faisant cheminer axialement sous le névrilemme, pour le faire ressortir au niveau de la tranche distale, suivant un trajet inverse. Un plomb de pêche fendu et serti sur le fil assure l'affrontement sans tension.

FIGURE 16 D'APRES (79)

Avant la recoupe : les fascicules ont tendance à sortir de leur gaine.

Après la recoupe : la suture peut commencer

1.4.2 - la suture

Principes : elle doit affronter au maximum les faisceaux correspondants

elle doit être hermétique (39)

elle doit éviter la sclérose (fil de nylon monobrin)

1.4.2.1 - les sutures sont classées (14, 52, 56) en fonction de la tunique qui sert de point d'appui. On en distingue trois grands types (fig. 17).

a) la suture épineurale, si elle a été longtemps utilisée, ne répond pas aux principes énoncés (56,97).

. les erreurs d'orientation sont fréquentes et néfastes (surtout un fascicule sensitif confondu avec un fascicule moteur).

. la sclérose est favorisée

. les erreurs d'affrontement sont également fréquentes; les fascicules se retournent sur eux-mêmes de sorte que leur tranche de section regarde en dehors ou même dans la direction opposée.

ROULLET (14, 56) propose une suture épineurale améliorée. Il réalise une suture primitive du plan profond puis élague systématiquement les fascicules jusqu'à réapparition du plan profond. Le hiatus ainsi réalisé évite le téléscopage et favorise la formation de fibrine qui sert de trame au développement du syncitium de SCHWANN, "*fil d'Ariane*" de la régénération des cylindraxes (14).

b) la suture fasciculaire : il s'agit d'orienter face à face les mêmes fascicules sur les deux tranches nerveuses.

Divers procédés sont utilisés (fig. 17)

- la suture fasciculaire périneurale : elle peut être réalisée avec suture de l'épinèvre (technique de ITO) ou sans la suture de l'épinèvre (technique de MILLESI) (14, 52, 56).

MILLESI (65) et d'autres (9) jugent non seulement que l'épinèvre ne doit pas être suturée mais même réséquée sur un à deux centimètres. Il entrainerait une réaction conjonctive importante, d'une part initiale et d'autre part évolutive avec un tissu conjonctif qui enserre les axones régénérés. D'autres chirurgiens (8) pensent que l'épinèvre n'est pas par lui-même un facteur de prolifération et doit participer à l'étanchéité de la suture ; de plus, cette résection dévascularise le nerf et nuit à la régénération.

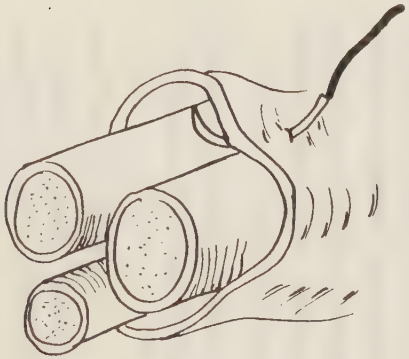
- la suture interfasciculaire de MICHON (33, 56) : MICHON pose sans les serrer les points fasciculaires prenant l'épinèvre et pénétrant profondément les cloîsons conjonctives. Ils vons diriger l'orientation de l'affrontement en rotation axiale. Lorsque sont posés tous les points nécessaires à une orientation fasciculaire précise, ils sont noués sous tension très modérée. La suture est achevée ensuite par des points sur l'épinèvre.

La technique de suture fasciculaire est dans l'absolu la meilleure car le rapprochement est maximal , les faisceaux se correspondent parfaitement et les réactions scléreuses sont réduites au minimum.

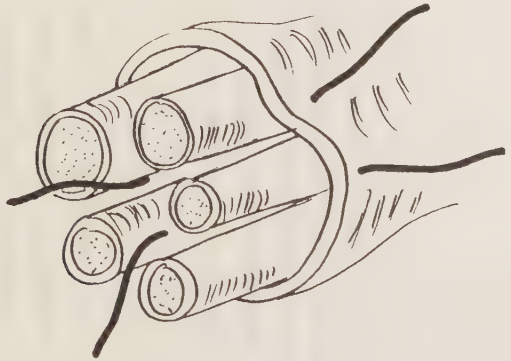
Elle présente cependant deux inconvénients majeurs :

- inconvénient anatomique : cette technique n'est valable que pour les pertes de substance peu étendues, ou les structures en câble. Lors d'une perte de substance importante au niveau d'une zone plexielle ou de

figure 17 d'après (54)



Suture épineurale



Suture interfasciculaire

Suture fasciculaire périneurale

Suture mixte périneurale partielle et nevrilemmatique (épineurale)

dispersion, il sera impossible de faire correspondre les deux surfaces ou même de réaliser une greffe, puisque le nombre de faisceaux n'est pas le même au niveau des deux tranches de section.

- inconvénient lié à la technique : le microscope est souvent nécessaire et le chirurgien doit posséder parfaitement la technique.

c) la suture mixte périneurale partielle et névrilemmatique selon BOURREL (11, 12, 13, 14, 16, 52, 56) : cette technique proposée par BOURREL est actuellement adoptée par la plupart des équipes chirurgicales.
Un affrontement fasciculaire est réalisé en prenant appui à la fois sur la périphérie du périnèvre des faisceaux et sur l'épinèvre (névrilemme) et en commençant par les faisceaux de plus gros calibre.
La partie centrale des faisceaux est donc seulement affrontée et le périnèvre n'est pas suturé (fig. 17).
Cette technique présente beaucoup plus d'avantages que la suture fasciculaire pure puisqu'elle réalise une orientation précise des faisceaux, évite les "*corps étrangers*" inclus, est accessible à tout chirurgien ne disposant que d'un matériel simple (lunettes grossissantes x3 ou x4).

Parmi les inconvénients, il faut signaler

- les difficultés rencontrées lors de la reconnaissance de faisceaux nombreux et identiques
- la conservation de l'épinèvre.

En fait, ces deux écueils ne sont pas propres à la suture mixte et se retrouvent dans la suture fasciculaire pure.

1.4.2.2 - le point : il faut commencer au faible grossissement. L'aiguille est amenée dans le champ opératoire et saisie avec le porte-aiguille, ce qui n'est pas facile dans les premiers temps, l'aiguille ayant tendance à tourner entre les mors, ou à sauter. Pour l'éviter, il faut prendre le fil à un ou deux centimètres de l'aiguille avec une pince plate et faire reposer l'aiguille sur la plaie par sa face convexe. Le porte-aiguille tenu dans la main droite n'a plus qu'à saisir l'aiguille qui est alors dans l'impossibilité de tourner. La prise doit s'effectuer dans la partie moyenne. La prendre trop près de la pointe risque d'introduire trop profondément l'aiguille ; la prendre trop loin diminue la précision.
On passe ensuite à un plus fort grossissement. Le passage du point débute par le côté droit de la plaie nerveuse. L'aiguille qui ne doit prendre que le périnèvre ou l'épinèvre et éviter les fascicules nerveux, est piquée à un demi ou un millimètre du bord de la plaie. Une pince tenue dans la main gauche réalise un contre-appui, permet de pousser l'aiguille et évite la sortie des fascicules du périnèvre (fig. 18). Le contre-appui est également nécessaire pour le deuxième temps du point (fig.19). Le périnèvre a un aspect nacré alors que les fascicules ont un aspect gélatineux, ce qui permet de les différencier facilement. Le point doit être perpendiculaire à l'incision et la prise symétrique sur les deux berges.

1.4.2.3 - le noeud : un faible grossissement facilite la prise des fils et un meilleur dosage des mouvements. Le fil est saisi par son extrémité et tiré à vitesse constante, jusqu'à ce que l'autre extrémité ne dépasse plus que de quelques millimètres. Un contre-appui avec une autre

pince est nécessaire de façon à éviter l'issue des fascicules toujours possible hors de cette traction. Le porte-aiguille saisit la partie gauche du fil et le ramène dans la partie droite du champ (fig. 20). La pince est alors posée sur le fil et une boucle (une double boucle si le noeud ne peut pas tenir ou un demi-noeud simple ou double) est effectuée sur cette pince avec le porte-aiguille. Puis l'extrémité de la pince saisit le bout du fil (fig. 21). Le serrage du noeud sera modéré puisque seul un affrontement fascicualire est recherché. Le second demi-noeud sera réalisé de la même façon mais cette fois, c'est la pince qui tient l'extrémité droite du fil et qui fait la boucle autour du porte-aiguille. Ainsi, on réalise un noeud plat (fig. 22). Le troisième demi-noeud est souvent facultatif car la tension sur la suture est généralement faible.
Le premier point étant réalisé, on laisse long un chef du fil qui va permettre de mobiliser plus facilement le nerf pour placer les autres points.

1.4.2.4 - la répartition et le nombre de points de suture : certains travaux (59, 95) ont montré qu'un simple rapprochement des abouts suffisait chez les animaux. A fortiori, un ou deux points de suture devraient suffire. Mais d'après GUEGAN (33, 40) la réussite d'une suture est proportionnelle au nombre de points : six points pour un nerf de un millimètre de diamètre (SPI de rat).
Nous pensons également que la suture doit être parfaitement étanche. Le placement du deuxième point est capital : il doit être diamétralement opposé, sinon il se produit une sortie fasciculaire qui gêne la suite de la suture et entrave la régénération.

Le deuxième point peut se placer de trois façons différentes :

- une légère traction sur le chef long du premier point présente des berges opposées (facile pour une suture équatoriale).

- le retournement des clamps à 180 degrés s'ils sont utilisés depuis le début.

- l'artifice de NATHAN : en fait, dans cette troisième technique, le point postérieur est posé en premier. L'aiguille est introduite de dehors en dedans, dans l'extrémité gauche et inférieur du nerf qui a été basculé (fig. 24). Ensuite, l'extrémité droite est basculée de la même façon et la pénétration de l'aiguille se fait de dedans en dehors. Il ne reste plus qu'à poser le deuxième point comme précédemment (fig. 25). Certains préfèrent (33) placer les deux premiers points en opposition sud-nord (suture polaire) plutôt que ouest-est (suture équatoriale). Cette dernière méthode apparait plus facile au débutant mais provoque souvent la formation d'une *"méduse"*.

Le premier des chefs du deuxième point est gardé long comme précédemment et aide à placer les autres points. La suture ainsi obtenue doit être étanche et assurer une continuité parfaite. Tous les fils seront coupés très courts, afin d'éviter qu'ils ne viennent se loger dans la suture.

Enfin, pour éviter la dessication, l'adhérence du fil au tissu et favoriser l'insensibilité du nerf , il est nécessaire d'irriguer régulièrement le champ opératoire avec du sérum de RINGER additionné de xylocaine à deux pour cent (environ 1 partie de xylocaine pour 5 à 6 parties de sérum). Le soluté physiologique est à éviter car il provoque un oedème des fascicules (33).

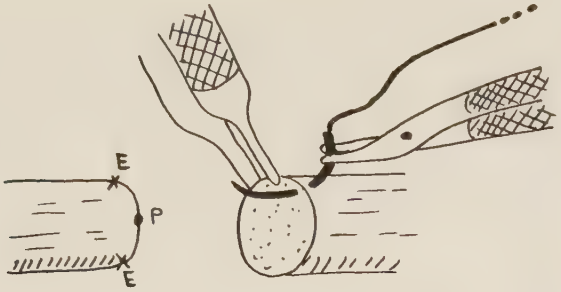


FIGURE 18

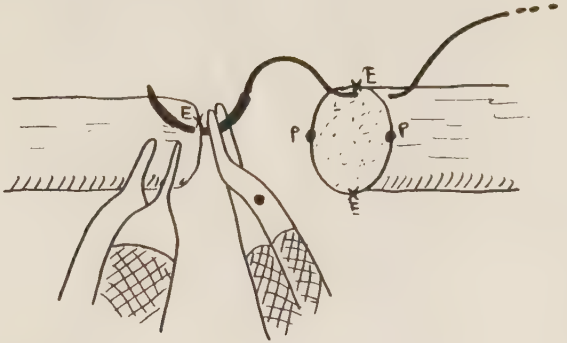


FIGURE 19

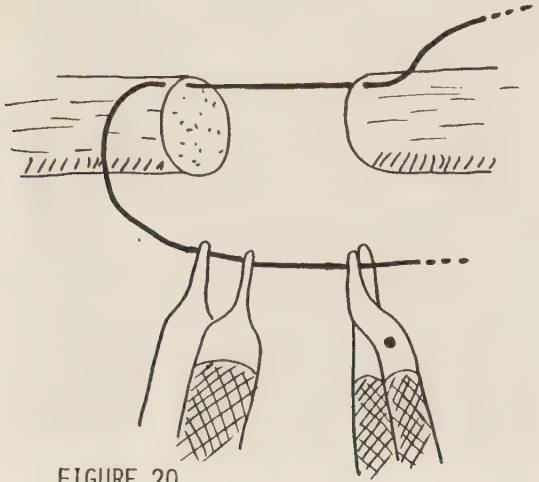


FIGURE 20

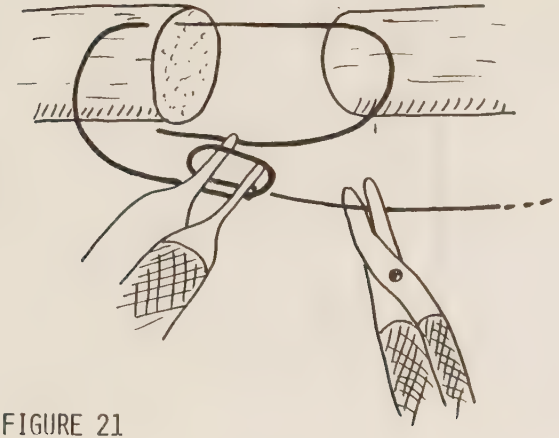


FIGURE 21

FIGURE 22

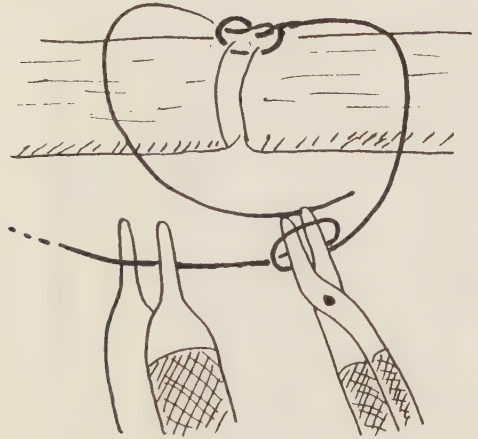


FIGURE 23

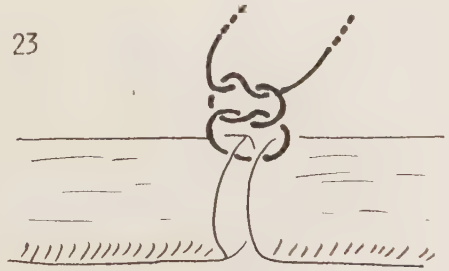


FIGURE 24

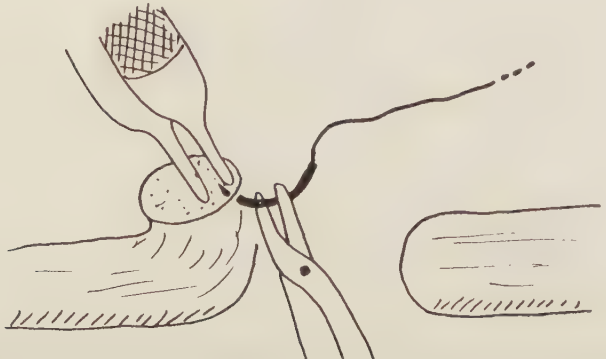
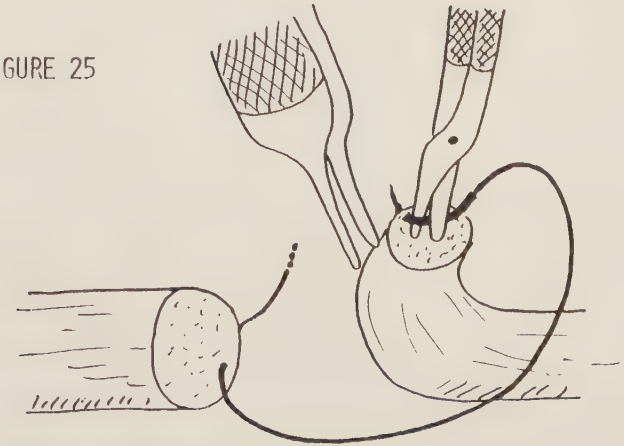


FIGURE 25



2 - LA GREFFE NERVEUSE

2.1 - Introduction

La suture simple, qui est la technique de choix pour bon nombre d'opérateurs, ne se fait pas sans certains problèmes. Une perte de substance va obliger le chirurgien à mettre la suture nerveuse sous tension. Cette tension va réduire la circulation intraneurale (qui est longitudinale en grande partie), favoriser la sclérose et gêner la régénération (69) (91).

De plus, MILLESI (65) (66) (67) a montré que la prolifération conjonctive au niveau de la suture était proportionnelle à la tension. Enfin, dans certains cas, la perte de substance est telle que la mise sous tension n'est plus possible. Pour palier à ces inconvénients, divers procédés sont utilisables.

- la flexion des articulations : elle permet de gagner plusieurs centimètres, à condition de ne pas dépasser 90 degrés. On estime que 60 degrés sont déjà une limite chez l'homme. Elle sera maintenue pendant trois semaines à l'aide d'un plâtre, puis le redressement se fera progressivement par plâtres successifs.

- la libération du tronc nerveux sur une longue distance la vascularisation doit être ménagée.

- la transposition du nerf sur un trajet plus court, technique largement utilisée chez l'homme.

- l'anastomose nerveuse (FLOURENS 1928) : seul le traitement des lésions nerveuses touchant des muscles voisins est envisageable.

exemple : l'anastomose spino-faciale chez l'homme.

Avant d'aborder la greffe nerveuse proprement dite, rappelons malgré tout certains procédés simulant la greffe. Ils furent tous des échecs.

- la "*suture à distance*" (ASSAKY 1886 (4)) : les extrémités nerveuses sont réunies à distance par plusieurs catguts à la manière d'un écheveau.

- la tubulisation (KIRK et LEWIS (1915), PLATT (1920), WEISS et TAYLOR (1846) (99)) : plusieurs matériaux sont utilisés, artères, veines, tube de caoutchouc, manchons de tissu, de gélatine, de fibres de verre.

- la greffe par dédoublement (LETIEVANT 1872, cité par DAVIS et CLEVELAND (27)) : la partie distale ou proximale du nerf est dédoublée de façon à combler la perte de substance.

2.2 - La greffe nerveuse proprement dite

Bien que la première tentative réussie de greffe nerveuse remonte à 1870, PHILIPEAUX et VULPIAN (77) "*essais de greffe d'un tronçon du nerf lingual entre les deux bouts du nerf hypoglosse, après excision d'un fragment de ce dernier nerf*", les tentatives suivantes ont été des échecs. Ce ne fut qu'à partir de la seconde guerre mondiale que la technique se perfectionna. Depuis, la greffe nerveuse occupe une place de choix dans la chirurgie des nerfs périphériques chez l'homme, à tel point que certains chirurgiens (MILLESI) la recommande dès que la perte de substance dépasse deux centimètres.
Il faut cependant noter que certains (17) (45) trouvent que la greffe réalise autant d'oppositions à la régénération que la suture sous tension.

2.2.1 - principes de la greffe nerveuse :

- le diamètre du ou des greffons doit être égal à celui du nerf à réparer. S'il est important, la nutrition de la partie centrale est faible et la dégénérescence wallerienne du greffon, nécessaire à la bonne prise de la greffe, ne se fait pas. Une nécrose du transplant peut survenir également. S'il est faible, la pauvreté relative des cordons de BUGNER entrave la régénération.

- la greffe doit être de 12 à 15 pour cent plus longue que la perte de substance à combler, de façon à permettre la rétraction.

- le lit du greffon doit être libre de toute cicatrice pour faciliter la revascularisation. L'apport sanguin est l'un des facteurs de survie du greffon dans les premiers jours.

- la greffe doit être interfasciculaire (66) (67). Les premières sutures proposées furent les sutures épineurales. Facilement réalisée , cette méthode présente des inconvénients majeurs que BORA (9) met bien en évidence chez le chat, mais que contestent cependant certains auteurs, si elle est faite correctement (17) (49) (fig. 26-27-28).

MILLESI (67) a donc mis au point une technique de greffe nerveuse où le nerf est divisé en autant de fascicules qu'il en possède. Puis, chacun des deux moignons d'un fascicule est suturé au greffon par une suture périneurale. Chacun de ces greffons est suturé individuellement. On réalise ainsi un pontage. KLEINERT (49) rappelle les avantages de la greffe interfasciculaire :

1° la tension au travers d'une suture non greffée favorise la prolifération du tissu conjonctif dans le nerf, et diminue la régénération.

2° une réparation nerveuse idéale est celle où il n'y a pas de tension au niveau de la réparation.

3° les axones passent plus facilement au travers de deux lignes de suture sans tension qu'au travers d'une seule suture avec tension.

4° l'épinèvre contribue à la formation du tissu conjonctif et doit être reséqué (fig. 26).

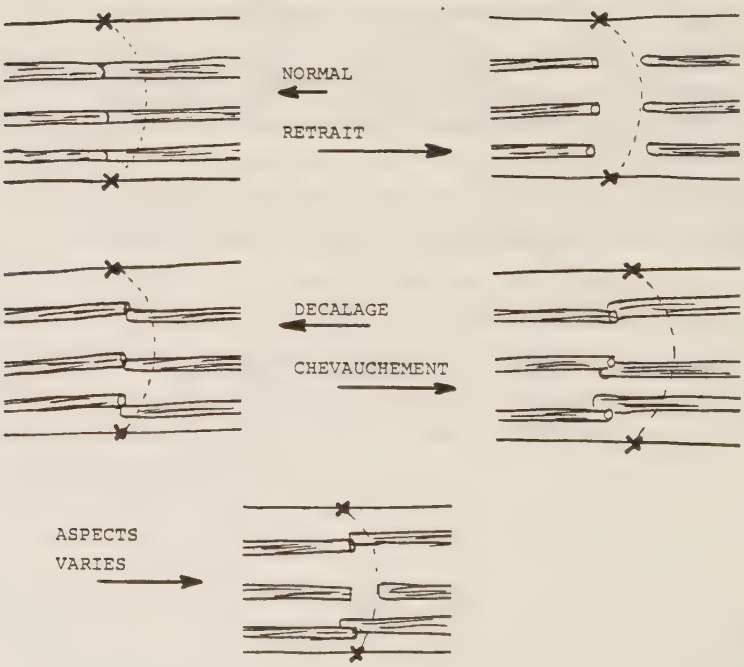
FIGURE 26

GREFFE NERVEUSE INTERFASCICULAIRE D'APRES (41)
L'EPINEVRE A ETE ENLEVEE AU NIVEAU DE LA GREFFE

Des difficultés seront rencontrées lors de l'abord de zones plexielles ou de dispersions et, devant la différence de calibre des faisceaux du tronc nerveux, alors que les greffons ont souvent un diamètre identique (un greffon peut recevoir un ou deux fascicules de plus petit calibre). MILLESI (67) propose de réaliser un schéma des surfaces d'avivement, à la fois du moignon distal et du moignon proximal du nerf coupé. Cette cartographie guide le chirurgien pour l'identification des fascicules qui se correspondent. Ce même auteur propose en plus de greffer des fascicules de longueur différente sur un même nerf, afin de réduire la tension. Il est bien évident que le microscope opératoire est nécessaire à cette technique.

FIGURE 28

SUTURE EPINEURALE CLASSIQUE : RESULTATS



2.2.2 - les facteurs qui peuvent influencer le devenir de la greffe ? (83)

- l'âge est l'un des facteurs les plus importants. Chez l'homme, on considère que plus le sujet est jeune et plus la réparation se fait rapidement et bien. Il en est de même chez l'animal.

- le siège de la lésion : les lésions situées au niveau des articulations et soumises à des mouvements variés, celles où la vascularisation est faible, se réparent en général moins facilement.

- le délai entre la lésion initiale et la greffe ; la perte de la sensibilité et la longueur de la régénération (entre un et trois mois) exposent trop l'animal aux traumatismes. Il faut donc proposer le plus souvent possible une greffe précoce.

La greffe tardive ne sera envisagée que si les lésions associées sont importantes et le risque d'infection non négligeable. Les lésions nerveuses découvertes tardivement peuvent également faire l'objet d'une greffe ; tout en sachant qu'au delà d'un an, les cordons de BUGNER sont trop rétrécis et l'atrophie musculaire "installée".

- la longueur de la perte de substance : chez l'homme, jusqu'à 15 centimètres de perte de substance ; les résultats sont comparables avec une légère prédominance pour les longueurs inférieures à cinq centimètres.

- résultats en fonction du nombre de fascicules : plus le nombre de fascicules est grand et meilleure est la suture (seuls les très fins ne sont pas suturés).

- influence de la qualité des tissus : une mauvaise vascularisation, un milieu cicatriciel fibreux sont de mauvais pronostic.

Donc, le pronostic s'améliorera nettement dans certaines conditions que l'on peut résumer ainsi :

âge jeune, délai inférieur à un an entre l'accident et la réparation, perte de substance inférieure à 15 centimètres, tissu de bonne qualité, maximum de câbles (fascicules) et enfin, opérateur entrainé.

Il existe trois types de greffes nerveuses :

- les greffes autologues, très prisées en chirurgie humaine.

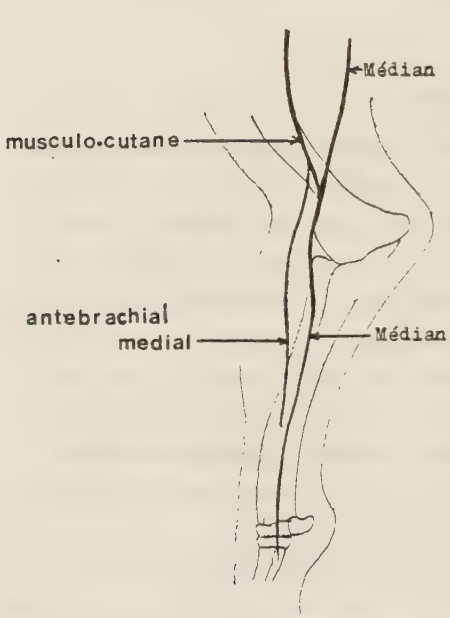
- les greffes homologues, actuellement étudiées chez l'homme. Elles font l'objet d'études approfondies chez les animaux d'expérience (29, 43). Ce chapitre sera particulièrement développé.

- greffes hétérologues.

2.3 - Les greffes autologues

L'usage des autogreffes chez l'homme remonte assez loin (PHILIPEAUX et VULPIAN 1870, FOERSTER 1916, BUNNEL 1927, BUNNEL 1939, et surtout SEDDON en 1947, 1945, BROOKS 1955). Il s'agit d'utiliser comme greffon un nerf sensitif fin dont la disparition n'entrainera qu'une perte minime de sensibilité par rapport au gain de la motricité retrouvée.
Les plus utilisés chez l'homme sont le nerf brachial cutané interne (cutané antebrachial médial) au membre thoracique et le nerf saphène externe (nerf sural ou nerf jambier cutané caudal latéral) au membre pelvien. Ce nerf ne doit pas être confondu avec le nerf saphène issu du fémoral.
D'autres nerfs comme le radial (branche antérieure sensitive) à l'antérieur et le nerf saphène interne au postérieur peuvent être utilisés. Mais la perte sensitive qui en résulte risque d'être désagréable et dangereuse.
Ces nerfs ont un diamètre de un à deux millimètres et une longueur de cinq à vingt centimètres selon les animaux. Plusieurs bandes d'un nerf sensitif sont nécessaires pour combler une perte de substance sur un tronc nerveux tel que le médian ou l'un des sciatiques. Pour d'autres nerfs plus fins, de même diamètre que le greffon, la greffe fasciculaire est inutile.

FIGURE [29] : MEMBRE THORACIQUE



D'APRES [61]

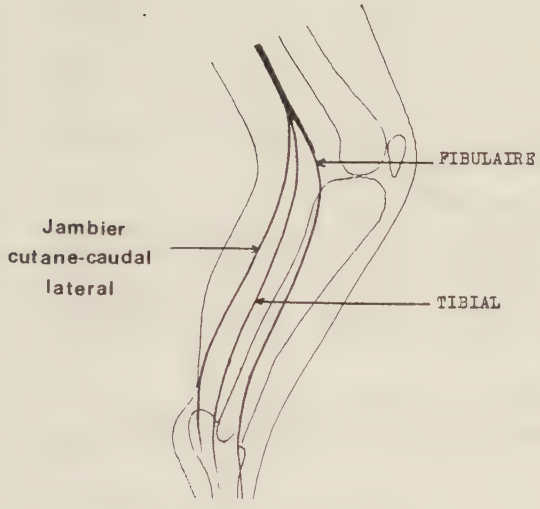
SCHEMA DES NERFS MUSCULO-CUTANE ET MEDIAN

D'APRES [73]

INNERVATION SENSITIVE DU MUSCULO-CUTANE ANTEBRACHIAL MEDIAL

Le nerf musculo-cutané (brachial antérieur) se connecte au niveau de la partie distale du membre thoracique, avec le nerf médian par une branche oblique. Près du coude, le nerf musculo-cutané se divise en une branche musculaire pour le triceps et le brachial, et en nerf musculo-cutané antebrachial médial. Cette branche qui nous interesse passe entre les muscles biceps et brachial, court le long du muscle pronateur pour s'arrêter sur la partie distale du membre thoracique.

FIGURE (30): MEMBRE PELVIEN



VUE LATERALE. D'APRES [61]

SCHEMA DES NERFS JAMBIER CUTANE, FIBULAIRE ET TIBIAL.

VUE LATERALE VUE MEDIALE

D'APRES [35]

INERVATION SENSITIVE DU JAMBIER-CUTANE CAUDAL LATERAL.

Le jambier cutané caudal latéral (sural) est issu directement du nerf tibial (sciatique poplité interne). Après un court trajet entre le biceps fémoral et le semi-membraneux, il se projette sur la face caudale du gastrocnémien, accompagnant une branche caudale de l'artère fémorale et la veine saphène latérale. Il se poursuit ainsi jusqu'au niveau du tarse.

2.4 - Les greffes homologues

Il s'agit de nerfs prélevés sur un animal de la même espèce, déspécifié et conservé selon divers procédés. L'homogreffe représente alors un squelette de tissu conjonctif sans cellule vivante. Ainsi deux problèmes fondamentaux apparaissent :

{ le premier est celui de l'immunité
{ le second, celui de la conservation

Divers moyens ont été utilisés pour réduire les phénomènes immunitaires et permettre la conservation :

- la conservation dans l'alcool et le formol (NAGEOTTE 1917 (72))
- la réfrigération (TARLOW et EPSTEIN 1945)
- la réfrigération associée à la dessication (WEISS et TAYLOR 1943)
- l'irradiation (MARMOR 1964 ; ASHLEY et COLL 1968 (58), BUCH 1970)
- la prédégénérescence : l'antigénicité d'un nerf diminuerait si l'axone et la myéline disparaissaient. LEWIS et MAC LAURIN (1969) l'ont associée à la réfrigération et à l'irradiation.
- le millipore : il s'agit d'une membrane synthétique comprenant des pores n'excédant pas 0,4 microns de diamètre. Cette membrane entoure la greffe sur toute sa longueur, la protégeant ainsi contre les actions extérieures (CAMPBELL, 1956 ; associée à l'irradiation et la réfrigération, CAMPBELL BASSET et BOHLER 1963).
- la conservation dans le cialit.

Toutes ces techniques ont été plus ou moins abandonnées et seule la technique du cialit reste interessante.

Conservation par le cialit

Le cialit est le 2 (ethyl mercurimercapto) benzoxazole - 5 - carboxylate de sodium. Il s'agit d'une poudre presque blanche, facilement soluble dans l'eau. Les solutions au 1/1000 et 1/5000 sont stables et sans précipités. Cependant, lors de la préparation, il faut prendre la précaution d'utiliser de l'eau bidistillée.

Ce sel mercuriel complexe a des effets bactéricides et fongicides. Contrairement aux autres composés mercuriels, le cialit (Laboratoire HOECHST) ne forme pas de dépôts insolubles avec les protides. Quelques travaux ont été consacrés à son emploi :

SANCHIZ OLMO en 1953 chez l'homme, EREAU (31) et JACQUEMAIRE (47) en 1964 et 1968 chez les animaux avec des greffes de peau.

AFANASSIEFF et COLL. (1) en 1971, chez l'homme avec des nerfs.

Leurs résultats ont été très encourageants.

- Toxicité : elle est faible par rapport aux dérivés mercuriels, puisque la dose maximale tolérée chez le lapin s'élève à 10 mg par kg de P.V., en intraveineuse ou sous-cutanée.

La toxicité chronique est faible également puisque l'injection journalière aux lapins pendant 15 jours de 0,5 mg par kg de P.V. ne provoque qu'une faible protéinurie au bout de vingt jours. De même, aucun phénomène d'irritation nerveuse n'a été observé.

- Effets sur les bactéries : l'effet bactériostatique est remarquable. In vitro, l'inhibition est obtenue aux concentrations suivantes :

protéus vulgaris..... 1 pour 2500000
staphylocoque doré..... 1 pour 2000000
colibacille..... 1 pour 270000
streptocoque pyogène..... 1 pour 650000

D'autre part, une solution aqueuse à 1 pour 10 000 détruit en cinq minutes le staphylocoque doré et en deux heures le bacille tuberculeux.

- Le prélèvement : les qualités antiseptiques du cialit permettent de prélever le nerf sans précaution d'aseptie trop importante, ce qui rend le prélèvement facile et simple. Après avoir soigneusement éliminé l'épinèvre, un fil est passé dans le périnèvre, afin de faciliter la préhension lors des prélèvements. Le nerf prélevé est donc lavé au sérum, puis placé dans le milieu de conservation ; la solution aqueuse de cialit.

- La mise en réserve : elle se fera dans de petits tubes à prélèvement, avec une solution de cialit à 1 pour 1000. Les tubes sont alors placés dans un réfrigérateur à quatre degrés durant 15 jours. Passé ce délai, on remplace la solution à 1 pour 1000 par une solution à 1 pour 2000. Cette solution sera changée toutes les quatres semaines. La durée de conservation maximale selon certains auteurs est fixée à trois ou quatre mois. Cependant, il nous semble qu'elle pourrait être beaucoup plus longue. Lors de l'utilisation, le "greffon" est placé dans une solution d'antibiotiques. Au bout de quelques jours de conservation, le nerf est débarassé complètement de toute trace de sang : il est blanchi. Il n'est pas recommandé de l'utiliser tout de suite, car le greffon apparait mou et difficile à manoeuvrer. Au bout de deux à trois semaines, il devient

ferme et présente des qualités mécaniques supérieures à l'autogreffe. Nous avons réalisé une étude expérimentale avec ces nerfs conservés dans le cialit. Elle fera l'objet du chapitre IX.

2.5 - Les greffes hétérologues

GLUCK (cité par MARMOR et FOSTER) en 1880, réalise pour la première fois, un travail expérimental (moelle de lapin). Depuis, de nombreux travaux ont été réalisés (NAGEOTTE 1917, SANDERS 1942, WEISS et TAYLOR 1943, THALEIMER 1964) mais les échecs sont très fréquents, car la réaction antigènique est importante.

4EME PARTIE

ETUDE EXPERIMENTALE : HOMOGREFFES NERVEUSES REALISEES AVEC DES GREFFONS CONSERVES DANS LE CIALIT.

DOCUMENTS PHOTOGRAPHIQUES.

1 - ETUDE EXPERIMENTALE : HOMOGREFFES NERVEUSES REALISEES AVEC DES GREFFONS CONSERVES DANS LE CIALIT :

1.1 - Généralités et matériel d'étude :

Notre but, dans cette expérimentation, est de vérifier la valeur de la greffe nerveuse réalisée avec un nerf homologue conservé dans le cialit, par rapport à l'autogreffe nerveuse et au nerf sain.

Cette expérimentation se base sur des données cliniques (amyotrophie, troubles trophiques...), électrophysiologiques et histologiques.

Ne disposant pas de chiens ou de chats, nous avions choisi dans un premier temps comme animal d'expérience, le lapin. Nos interventions (une quinzaine) ont porté sur des nerfs grand sciatique ; elles consistaient en une section tronculaire suivie d'une suture épipérineurale (6 points). Très rapidement, nous avons pu constater que chez cet animal, la section complète ou partielle du sciatique en partie haute (neurotmesis), entrainait, malgré les précautions d'usage (antibiothérapie - soins locaux) une amyotrophie importante et des troubles neurotrophiques (cf 3ème partie). La lenteur de la régénération, associée à l'absence de rééducation explique ces troubles.

Nous avons donc été amené à choisir un autre animal : le rat. Cet animal présente comme avantages :

- un prix de revient peu élevé
- une reproduction rapide
- un entretien facile
- des structures nerveuses faciles d'abord et suffisamment petites pour la micro-chirurgie
- une sensibilité réduite aux infections.

1.2 - L'animal de laboratoire :

Nos rats sont des Wistars blancs et leur poids varie entre 350 et 400 grammes.

Ces animaux sont placés dans des cages individuelles et marqués au niveau de l'oreille au moyen de petits plateaux en plastique coloré numérotés et rivés.

1.3 - L'anesthésie :

Elle est réalisée avec de la Kétamine (Imalgène 1000 ND) à la dose de 0,3 à 0,6 ml associée au Dropéridol (Droleptan ND) à la dose de 1 à 2 mg (0,2 à 0,3 ml). Ces doses permettent une anesthésie de plus d'une heure.

Les décès en cours d'anesthésie sont rares (de trois à quatre pour cent sur le nombre de rats opérés).

1.4 - Le microscope et les instruments :

Nous avons utilisé un microscope opératoire O.P.M.I.6. avec commandes à pied ; les instruments sont ceux cités dans le chapitre III. Nous utilisons des fils de nylon (ND) monobrin de 25 microns de diamètre (10 zéro) et de 10 cm de long, sertis sur des aiguilles à section ronde, de courbure 3/8, de 4 mm de long et de 50 microns de diamètre.

1.5 - Choix du nerf :

Chez le rat, le plexus sacré donne naissance à deux groupes de nerfs : un groupe antérieur et un groupe postérieur réunis au niveau du pelvis en un tronc commun ; le nerf sciatique. Ce tronc commun est presque toujours facilement clivable très haut en deux branches terminales.

Le nerf tibial (SPI) et le nerf péroné (SPE). Ces nerfs parcourent ensemble la cuisse dans toute sa longueur pour se séparer à la partie proximale de la région poplité ; à distance, se trouve le nerf sural sensitif pur.

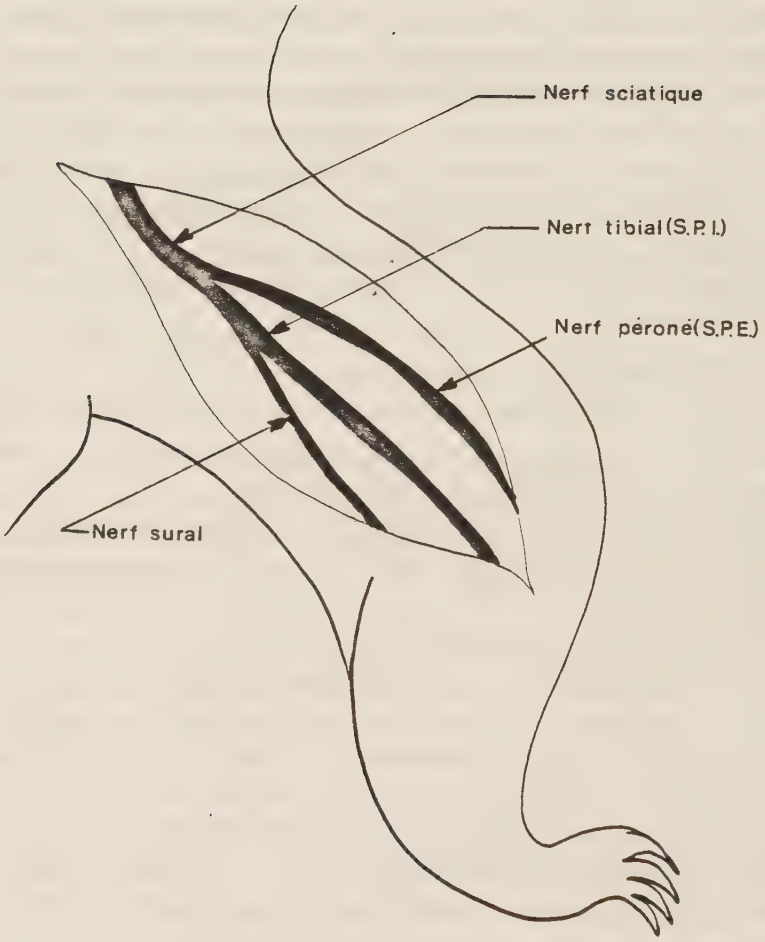
Le nerf péroné (SPE) se divise rapidement en nerf musculo-cutané et en nerf tibial antérieur à destinations musculaires pour les loges antérieures et latérales de la jambe et les muscles dorsaux du pied. Le nerf tibial (SPI) donne d'importantes collatérales pour les muscles superficiels et profonds de la loge postérieure, puis se divise en nerf plantaire médian et latéral innervant les muscles plantaires du pied. Avec un calibre de 0,5 à 0,6 mm, un territoire d'innervation permettant un contrôle électrophysiologique, le nerf péroné nous a paru être le nerf de choix pour la réalisation de greffes nerveuses.

1.6 - Technique opératoire :

L'animal est installé et fixé en décubitus latéral sur une planche de liège recouverte d'un champ, la peau est rasée largement et badigeonnée à l'alcool iodé.

L'incision cutanée est faite sur la face latérale de la cuisse le long de la direction du fémur, depuis le grand trochanter jusqu'au grasset.

On découvre le nerf sciatique sous le muscle "*biceps fémoris*". Sous grossissement moyen, le nerf est libéré des tissus avoisinants en ménageant au maximum les artères nourricières. L'épinèvre est ouvert, permettant de séparer le nerf péroné (SPE) du nerf tibial (SPI). Le nerf péroné est engainé par un manchon périneural propre, ce dernier doit à tout prix être préservé. La dissection de ce nerf est conduite prudemment jusqu'à sa division sur deux à trois centimètres. C'est ce manchon périneural qui servira de point d'appui aux sutures.



FIGURE[31] : DISSECTION DU NERF SCIATIQUE CHEZ LE RAT.

1.7 - Notre expérimentation

- la greffe, les sutures.

Les fragments de SPE (péroné) ont une longueur constante de quatre millimètres et sont suturés à chacune de leur deux extrémités par quatre points (deux à l'équateur et deux au pôle). Les techniques de recoupe des extrémités et de mise en place des points ont été décrites dans le chapitre VII. Rappelons cependant que la recoupe du bourgeon gélatineux ("méduse") est essentielle pour obtenir une bonne suture. La suture est dans tous les cas périneurale.

- notre expérimentation porte sur trois lots de 10 rats :

Lot I = lot de 10 rats témoins (pas de greffes)
Lot II = lot de 10 rats avec autogreffe nerveuse
Lot III = lot de 10 rats avec homogreffe nerveuse.

Le contrôle clinique, électrique et histologique de ces rats a été réalisé trois ou quatre mois après l'opération. Ce délai compte-tenu de la dégénérescence rétrograde et de la vitesse de régénération du nerf (deux ou trois millimètres par jour) nous a paru suffisant.

1.8 - Données cliniques :

Nous avons pris comme éléments d'appréciation quatre degrés.

1er degré : pas d'amyotrophie, aucun trouble neurotrophique

2ème degré : amyotrophie très légère, masses musculaires bien perçues et fermes, pas de trouble neurotrophique.

3ème degré : amyotrophie importante, ostéolyse et escarres des extrémités.

4ème degré : amyotrophie très importante, surinfection de l'avant-pied.
Avant l'étude électrophysiologique et histologique, un examen rigoureux de l'animal permet d'évaluer dans une certaine mesure la qualité fonctionnelle du pontage. L'étude de la marche étant pratiquement impossible à réaliser sauf pour un animalier très averti, il nous a paru raisonnable de nous baser sur l'apparition ou non d'une amyotrophie. Il nous a paru également interessant de noter l'importance de la réaction inflammatoire au niveau de la greffe (adhérences, vascularisation).

1.9 - Données électrophysiologiques :

1.9.1 - le principe :

Il s'agit d'une méthode classique de stimulation détection.

- la stimulation : elle peut être faradique ou galvanique.

La stimulation faradique utilise un courant de brève durée (de l'ordre de la milliseconde) qui est actif sur le nerf et les filets nerveux intramusculaires. L'effet résultant est une contraction musculaire cliniquement perceptible. La constatation d'une telle réponse permet d'affirmer l'existence d'une innervation au moins partielle du muscle considéré. Ces réponses sont toujours vives, ou bien, elles n'existent pas. L'absence de réponse faradique permet d'affirmer l'interruption physiologique totale.

La stimulation galvanique utilise des courants de longue durée (200 à 300 millisecondes). Ils ont une efficacité sur les éléments nerveux mais également une action excitante sur les fibres musculaires dénervées dont les réponses sont lentes.

La constatation de réponses lentes permet d'affirmer la présence de fibres musculaires dénervées.
Nous n'avons pas utilisé la stimulation galvanique car seule l'existence ou non d'une innervation nous est apparue utile à étudier.

- la détection : il s'agit en fait de la détection de l'activité électrique plus que de son activité mécanique ; la première précédant d'ailleurs la seconde de plusieurs dizaines de millisecondes.
On décèle, à l'aide d'une aiguille, les potentiels d'action (PA) des unités motrices (UM). L'unité motrice étant un nombre plus ou moins importante de fibres musculaires s'activant simultanément à la commande d'un seul axone. Cette activité électrique est traduite par une image sur un tube cathodique.

1.9.2 - le matériel : (fig. 32)
Il se compose d'un stimulateur, d'une électrode de stimulation, d'un oscillographe et d'une électrode de détection.

a) le stimulateur : nous utilisons un générateur d'impulsions Phymep MPI, qui permet de régler la durée, l'intensité et la fréquence des stimulations. Il est couplé avec une unité d'isolement fournissant le signal, ce dernier étant récupéré sur DAMSMPI, qui filtre et amplifie la réponse. Ces paramètres s'inscrivent automatiquement sur un oscillographe cathodique. La durée de la stimulation a été fixée à 0,5 millisecondes. Signalons que pour éviter tout brouillage éventuel, nos appareils sont connectés avec un transformateur d'isolement.

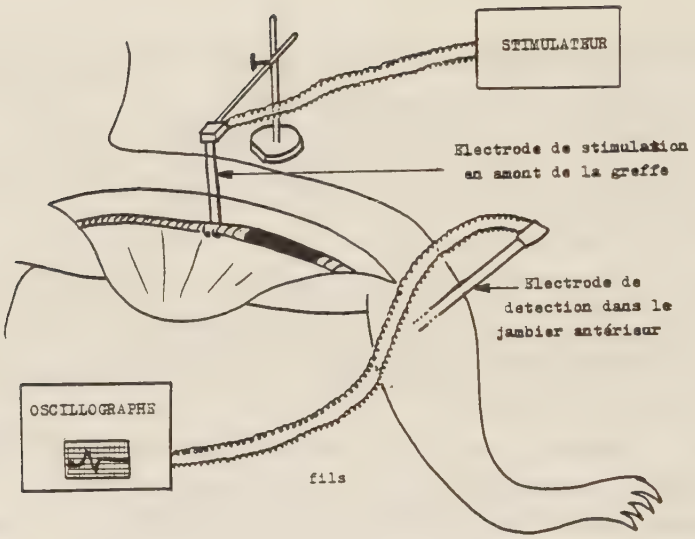


FIGURE (32) : LA STIMULATION-DETECTION S.P.E. JAMBIER-ANTERIEUR.

b) l'électrode de stimulation : nous avons utilisé une méthode de stimulation classique : deux microélectrodes d'argent coudées et dans lesquelles est déposé le nerf.

c) l'électrode de détection : au début, nous avons utilisé une aiguille de Bronk coaxiale monofilaire, qui enregistrait les variations de potentiel entre l'extrémité du fil au contact de UM et le corps d'une aiguille plongé dans la masse musculaire. Les résultats étant trop imprécis, nous avons alors fait appel à une aiguille de Bronk coaxiale bifilaire, contenant deux fils de platine isolés, la gaine de l'aiguille servant de masse. On enregistre alors la différence de potentiel entre ces deux fils. Ces deux fils sont reliés à l'oscillographe (fig. 33).

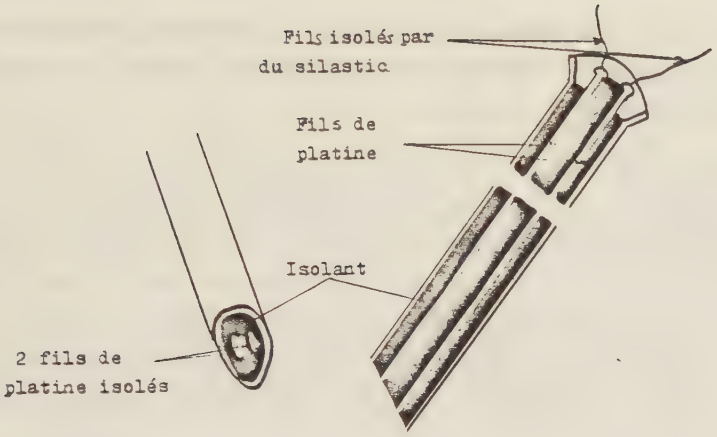


FIGURE (33): AIGUILLE DE BRONK COAXIALE BIFILAIRE.

d) le récepteur : pour traiter l'image, nous utilisons un oscillographe cathodique (Gould OS 4001) à mémoire, dont l'écran est quadrillé. Les vitesses de balayage sont variables ainsi que les valeurs des intensités. Il est possible de fixer l'image (le tracé) correspondant à la réponse musculaire. Cette image peut alors être étudiée en détail et même photographiée. Les photographies sont réalisées en noir et blanc et prises grâce à un appareil polaroïd Hewlet-Packard adapté à l'oscillographe.

e) technique d'enregistrement : elle se fait sous anesthésie générale. Après reprise de l'incision précédente, le nerf péroné (SPE) est découvert puis disséqué sous microscope opératoire. Il faut éviter de déposer de la xylocaïne sur le nerf à isoler sinon les tracés seront ininterprétables. Après libération de ce nerf des tissus voisins, l'électrode de stimula-

tion est mise en place en amont de la greffe, tandis que l'électrode de détection est enfoncée au niveau du muscle jambier antérieur.

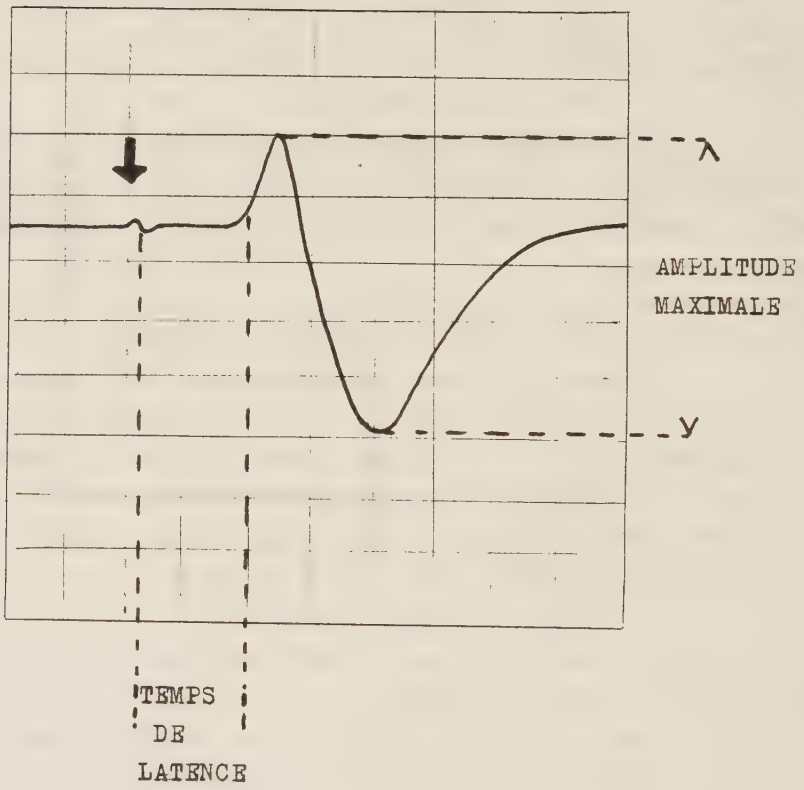
- recherche du seuil : la durée de passage du courant électrique étant fixe, (0,5 milliseconde), l'intensité en volts est augmentée progressivement jusqu'à l'obtention d'une contraction clinique. Ce choc minimal active une ou quelques UM seulement, correspondant aux neurones moteurs les plus excitables ou les plus proches de l'électrode de stimulation. On définit ainsi une intensité liminaire correspondant au seuil de la contraction musculaire.

- l'enregistrement : la contraction musculaire se traduit sur l'écran de l'oscillographe par un tracé de potentiels d'UM. L'isolement d'un potentiel d'UM donne une courbe bi ou triphasique dont les caractéristiques nous interessent (fig. 33). En faisant varier patiemment la position de l'aiguille au niveau de la partie supérieure du muscle jambier antérieur, on recherche la meilleure courbe qui sera retenue pour les mesures. Les différences entre les courbes sont fonction de la position de l'aiguille par rapport aux UM.

- l'amplitude maxima se cherche en augmentant progressivement l'intensité à partir du seuil jusqu'à l'obtention d'une courbe dont l'amplitude ne varie plus au-delà d'une certaine valeur de l'intensité. Toutes les UM sont alors activées. Elle correspond à la distance exprimée en millivolt, entre les deux sommets de la courbe. Elle renseigne sur l'importance de la régénération des fibres musculaires.

- le temps de latence : l'amplitude maximale étant atteinte, on peut calculer le temps de latence qui correspond au temps de conduction dans les fibres nerveuses, au délai synaptique et au temps de conduction dans les fibres musculaires jusqu'à l'électrode. Sur la courbe, il correspond à la distance entre l'artéfact de stimulation et le point de départ de la courbe, (millisecondes).

A la fin de cet examen électrique, trois prélèvements sont effectués pour l'histologie : un prélèvement en amont du greffon, un autre au niveau du greffon, et enfin un dernier en aval du greffon.



LA CONTRACTION MUSCULAIRE SE TRADUIT SUR L'ECRAN DE L'OSCILLOGRAPHE PAR UNE COURBE CARACTERISTIQUE.

1.10 - Données histologiques

Elles sont toutes aussi primordiales que les données électriques. Nous avons hésité plusieurs mois entre les deux techniques. L'inclusion à l'araldite (métoxyde de sodium) ou l'inclusion à l'histomède associé au PSF 115 à 10 %. Après de multiples tâtonnements, nous avons décidé d'abandonner les coupes semi-fines (0,5 à 1 m), à l'araldite. Nous obtenions d'excellentes images des gaines de myéline (cf photo 3) mais les cylindraxes n'étaient pas visibles. Nous ne pouvions donc compter que les fibres myéliniques. Certains auteurs (95) considèrent cependant que le nombre de gaines de myéline et leur épaisseur sont un témoin suffisant de la recolonisation des cordons de BUGNER.
Nous avons pour notre compte retenu la technique d'inclusion à l'histomède avec des coupes de trois à cinq microns qui nous permettent d'étudier tous les éléments constituant le nerf.

1) la fixation au formol salé à 10 % doit commencer sur l'animal vivant avant le prélèvement. Il suffit de déposer plusieurs gouttes de formol sur le nerf non sectionné et d'attendre une à deux minutes avant de faire le prélèvement.

2) le prélèvement effectué au-dessus, au-dessous et au niveau de la greffe doit être conservé dans le même formol salé à 10 % pendant au moins 48 heures.

3) inclusion à l'histomède : cette dernière a été réalisée de façon classique. Nous avons fabriqué des cadres permettant la mise en position verticale et perpendiculairement au plan de coupe des fragments de nerfs. La tension sur le nerf restant anatomique, on coule alors la parafine autour du

prélèvement. Cette technique donne d'excellentes coupes perpendiculaires (photo 2-7).

4) la coloration : nous utilisons la coloration de HOLMES (Luxol fast blue) qui nous donne d'excellentes images : les axones sont colorés en brun, les gaines de SCHWANN en brun fonçé, la myéline en bleu. Cette coloration permet de mettre en évidence tous les éléments contenus dans le nerf : fibres myéliniques, fibres amyéliniques, vaisseaux, gaines de SCHWANN (cf photos 2 - 7).

5) le comptage des fibres :
Trois possibilités s'offrent à nous :

- comptage sur photographie couleur
- comptage sur écran par projection de diapositive (la lecture se fera derrière l'écran)
- comptage sur lecteur d'image : c'est ce dernier procédé que nous avons retenu car cette méthode est simple. Il suffit de placer la lame colorée sous l'objectif du compteur pour qu'elle apparaisse sur un écran circulaire d'environ 20 centimètres de diamètre. Un papier quadrillé posé sur cet écran permet de réaliser un comptage précis (grossissement x 1500).

1.11 - Résultats

a) cliniques : (tableau I)

Lot I : les animaux pris au hasard ne présentent aucune amyotrophie et aucuns troubles neurotrophiques (lot témoin).

Lot II : greffes sur SPE de dix rats avec un greffon autologue -le greffon est prélevé sur l'animal puis replacé aussitôt sur celui-ci.

longueur du greffon : quatre millimètres
suture proximale : quatre points
suture distale : quatre points

Lot III : greffes sur SPE de dix rats avec un greffon homologue -le greffon est prélevé sur un rat, conservé 15 jours, à un mois dans la solution de cialit, puis greffé sur un autre rat.

longueur du greffon : quatre millimètres
suture proximale : quatre points
suture distale : quatre points

b) électriques : (tableau II)

Le temps de stimulation pour chaque animal est constant : 0,5 ms.

	numero du rat	délai entre la suture et le contrôle	degré clinique	vascularisation
Lot II	1	3 mois	1	nulle
	2	3 mois	1	+
	3	3 mois	1	nulle
	4	3 mois	1	+
	5	4 mois	1	++
	6	3 mois	1	+
	7	3 mois	1	+
	8	3 mois	1	nulle
	9	3 mois	1	nulle
	10	3 mois	1	nulle
Lot III	1	3 mois	1	++
	2	4 mois	1	++
	3	4 mois	1	++
	4	4 mois	1	+
	5	4 mois	1	nulle
	6	3 mois	1	++
	7	4 mois	2	+
	8	3 mois	2	nulle
	9	3 mois	1	++
	10	4 mois	2	+

TABLEAU I

TABLEAU II

	numéro du rat	seuil (V)	temps de latence (ms)	amplitude maximale (mV)
	1	1	1,4	22
	2	1	1	20
	3	4	1,3	18
	4	2,5	1,5	16,5
Lot I	5	2	4	26
	6	2,5	4	16
	7	4	2	22
	8	2,5	1,5	22
	9	6	2	22
	10	2	1,5	20
	1	3	2,5	20
	2	3	2,5	21
	3	2	2,8	12
	4	4	2,5	18,4
Lot II	5	3	2,5	18,4
	6	5	2,7	12,8
	7	4	2,4	16,8
	8	3	2	19,2
	9	2	2	16,8
	10	3	2,5	24
	1	2	3	11
	2	4	1,8	13
	3	2	1,3	22
	4	3	2,4	18
LotIII	5	2	2,3	16
	6	3	1,7	22
	7	3	2,5	22
	8	5	3	15
	9	3	2,5	18
	10	2	2	14

c) histologiques : (tableaux III et IV)

Nous avons défini pour chaque animal greffé un coefficient de régénération en comparant le nombre de fibres nerveuses en amont de la greffe à celui des fibres nerveuses en aval de la greffe.

$$\text{coefficient } (\%) = \frac{\text{nombre de fibres en aval de la greffe}}{\text{nombre de fibres en amont de la greffe}}$$

Il nous semblait raisonnable comme certains auteurs (34) de calculer ce coefficient en utilisant la moyenne des résultats obtenus chez nos témoins. Ces derniers présentant assez fréquemment un nombre de fibres inférieur à celui des animaux greffés (surtout pour le lot III), il nous semble impossible de calculer un coefficient de régénération de cette façon. Le fort grossissement du microscope à écran (x 1500) nous a permis de compter les fibres les plus petites (de 2 à 3 um). Ainsi, dans nos résultats, figurent les fibres de 2 à 10 um, les fibres myéliniques et les fibres amyéliniques.

	rats témoins	nombre de fibres	
Lot I	1	1882	moyenne 1876
	2	1881	
	3	1997	
	4	1681	
	5	1624	
	6	1982	
	7	2009	
	8	1669	
	9	2050	
	10	1991	

TABLEAU III

	numéro du rat	nombre de fibres en amont de la greffe		nombre de fibres en aval de la greffe		coefficient de régénération	
Lot II	1	2010		1865		93	
	2	1852		1675		90	
	3	2180		2004		92	
	4	1758	moyenne	1565	moyenne	89	moyenne
	5	2521		2368		94	
	6	2075	2113	1889	1923	91	91 %
	7	2020		1843		91	
	8	1970		1834		93	
	9	2650		2302		87	
	10	2099		1885		90	
Lot III	1	2604		2433		92	
	2	2227		2017		91	
	3	1935		1750		90	
	4	2400	moyenne	2297	moyenne	96	moyenne
	5	2855		2624		92	
	6	2600	2311	2289	2106	86	91,5 %
	7	2309		2117		91	
	8	1743		1695		97	
	9	2548		2246		88	
	10	1791		1592		89	

TABLEAU IV

1.12 - Interprétation des résultats :

a) cliniques :

Tous les animaux du lot II sont au stade 1. Seul le stade 2 est décelé dans le lot III. Aucun des stades 3 ou 4 n'apparait.

Les lots II et III apparaissent tout à fait identiques.

b) électriques :

	temps de latence (ms)	amplitude (mv)
Lot I : rats témoins	1,92	20,4
Lot II : autogreffe	2,40	18,9
Lot III : homogreffe	2,25	17

Il aurait été interessant de calculer la vitesse de conduction motrice (VCM)*. Elle se mesure en deux points d'un même tronc nerveux et permet d'éliminer les causes d'erreurs dues au délai synaptique et à la transmission de l'excitation dans la fibre musculaire. La distance entre les deux points nous a semblé, dans un premier temps, trop réduite pour être mesurée avec précision. Le laboratoire a surmonté cet obstacle par la suite. Les résultats trop partiels ne sont pas publiés ici.

$$* \text{ VCM (m/s)} = \frac{\text{distance (en mm)}}{\text{latence proximale - latence distale}}$$

Le temps de latence, qui est le seul critère mis à notre disposition pour affirmer la présence d'obstacles sur les trajets nerveux est légèrement augmenté dans les lots II et III (animaux opérés). La différence entre les lots I et II (+ 20 %) est plus accusée que celle entre les lots I et III.
L'amplitude est diminuée dans les lots II et III, ce qui traduit une diminution du nombre des fibres nerveuses stimulées. Cette diminution est plus importante dans le lot III (20%) que dans le lot II (10%).

c) histologiques :

La comparaison entre les lots I, II et III montre une nette augmentation du nombre de fibres dans le lot II et III. Plusieurs hypothèses peuvent l'expliquer :

1° la coupe, la fixation, la coloration et le comptage seraient de mauvaise qualité. Cette hypothèse ne parait pas valable car les lames comptées sont bien perpendiculaires à l'axe du nerf (photo 1), leur coloration est excellente (photos 2,7), et les comptages sont réalisés par deux personnes différentes.

2° il y a une réelle augmentation du nombre d'axones dans les nerfs opérés ; MIYAMOTO (70) sur le chien et ORGEL (73) sur le lapin trouvent des résultats similaires. Chaque axone en voie de régénération forme des collatéraux, au fur et à mesure de sa progression ; les axones ou leurs collatéraux se développent au dépens des autres. A la fin de la régénération (vers douze mois), le nombre d'axones redevient *"normal"* (45). Cette hypothèse reste à vérifier par les coupes longitudinales et des comptages espacés dans le temps (4, 6, 12 mois après la greffe).

Nos résultats sont actuellement trop partiels pour conclure. Le laboratoire de chirurgie expérimentale de l'IMTSSA réalise actuellement des comptages sur un nombre beaucoup plus significatif d'animaux témoins et opérés (37).

3° la suture n'est pas étanche. Lors de la neurolyse, nous sectionnons une collatérale nerveuse qui gêne la pose des points. Au moment de la régénération, cette branche peut coloniser le SPE à la faveur de fuites dans la suture. Cette hypothèse doit être avancée avec précaution car nous avons réalisé pour chaque greffe une suture étanche (quatre points pour un nerf de 0,05 mm). Trois des vingt greffes réalisées nous ont paru suspectes (photo 5).

4° le nerf sciatique présente des zones où les fascicules s'anastomosent ou se dispersent (zones plexiformes - zones de dispersion). Les greffons ont tous la même longueur et sont toujours placés au même endroit ; ces zones d'échange ne peuvent donc pas influencer le comptage des fibres des lots II et III.

Par contre, le comptage des fibres des animaux témoins a été réalisé à un endroit quelconque. Il nous parait nécessaire à l'avenir d'effectuer nos prélèvements à des endroits bien déterminés chez les témoins et les greffés.
Nous notons à l'examen des résultats des tableaux III et IV que le nombre moyen des fibres comptées en amont de la greffe (lot II et III) est supérieur à celui du lot témoin. Cette quatrième hypothèse nous parait donc la plus vraisemblable.

- le lot II est peu différent du lot III. Le coefficient de régénération (91 %, 91,5 %) y est identique et l'on peut considérer la régénération comme similaire dans les deux lots.
Cependant, les fibres régénérées sont plus petites en moyenne (2 à 4 um) que les fibres normales (6 um) (photos 2 et 7). Néanmoins, sur les nerfs régénérés, on observe quelques fibres de gros diamètre (10 um).

- le périnèvre, rarement épaissi, est entouré par un épinèvre au tissu conjonctif lâche beaucoup plus développé (photo 5) au niveau de la greffe. La néovascularisation y est importante (photos 5 et 6).
Par endroits, dans l'épinèvre, apparaissent des groupes de fibres régénérées (photo 5). Une mauvaise étanchéité de la suture peut l'expliquer.

- le tissu conjonctif endoneural est peu abondant (photos 4, 5, 6). Cependant, dans certaines coupes, du tissu conjonctif sépare, cloisonne des groupes d'axones.

CONCLUSION : l'étude des résultats cliniques, électriques et histologiques met en évidence la bonne qualité de la régénération des fibres nerveuses tant au travers d'un greffon autologue que d'un greffon homologue. Les résultats obtenus permettent d'envisager, par ce moyen, la réparation des pertes de substance nerveuse importantes sur les nerfs périphériques. Cette expérimentation doit cependant être poursuivie sur d'autres animaux (lapin, chien) afin d'être vraiment concluante.

1	2
3	4
5	6

Photo 1 : E M G sur rat normal (non opéré) - numéro 1 - lot I : seuil = 1 v ; amplitude = 22 mv ; latence = 1,4 ms.

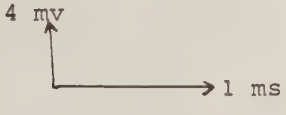
Photo 2 : E M G sur rat normal - numéro 2 - lot I : seuil = 1 v ; amplitude = 2 mv ; latence = 1 ms.

Photo 3 : E M G sur rat greffé (autogreffe) - numéro 1 - lot II : seuil = 3 v ; amplitude = 20 mv ; latence = 2,5 ms.

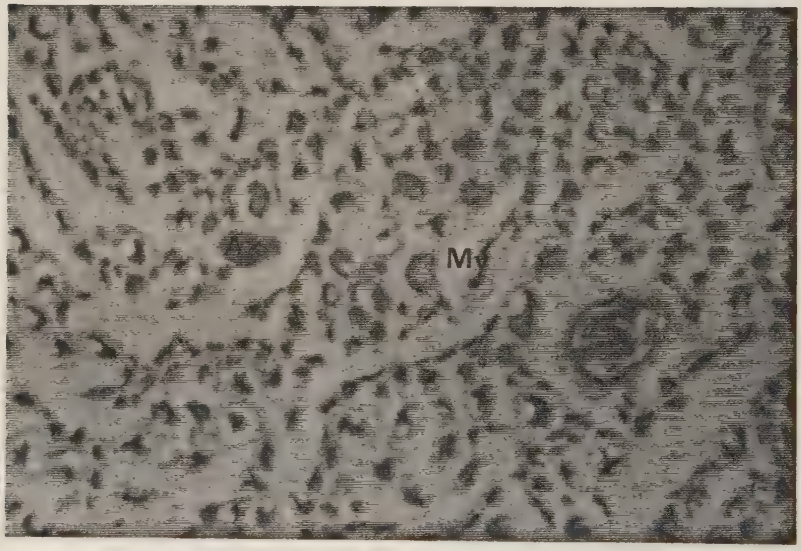
Photo 4 : E M G sur rat greffé (autogreffe) - numéro 2 - lot II : seuil = 3 v ; amplitude = 21 mv ; latence = 2,5 ms.

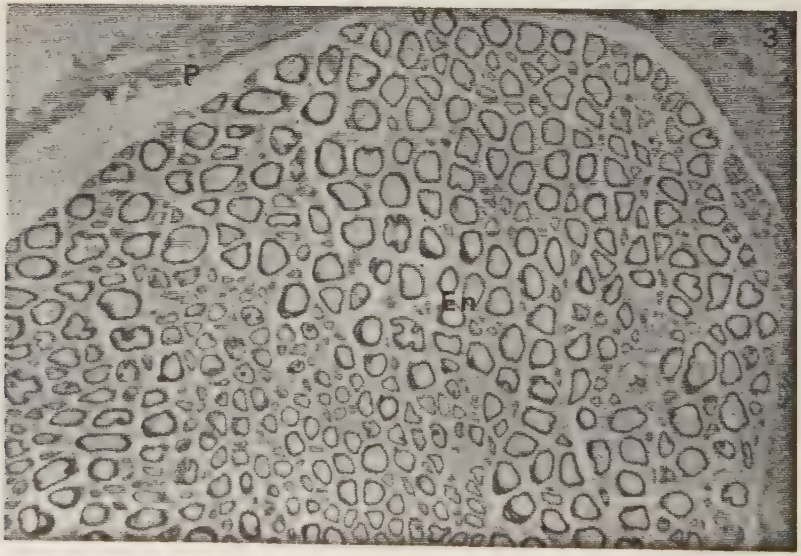
Photo 5 : E M G sur rat greffé (homogreffe) - numéro 2 - lot III : seuil = 4 v ; amplitude = 13 mv ; latence = 1,8 ms.

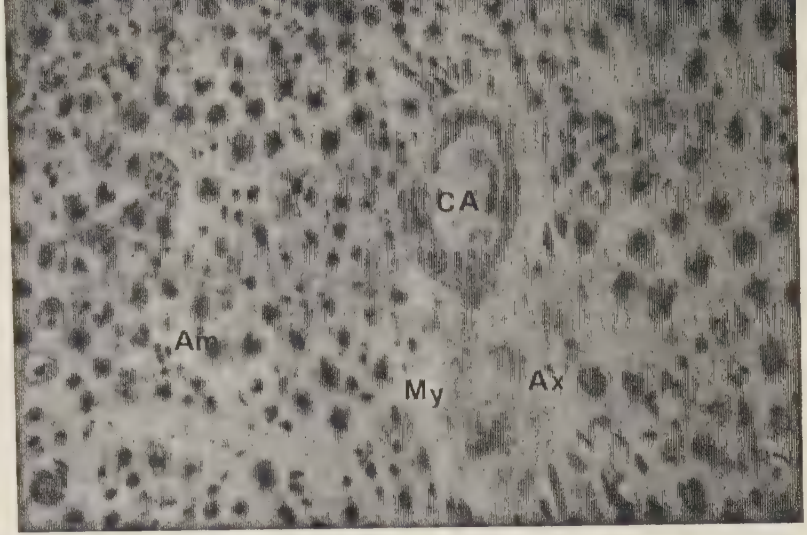
Photo 6 : E M G sur rat greffé (homogreffe) - numéro 4 - lot III : seuil = 3 v ; amplitude = 18 mv ; latence = 2,4 ms.

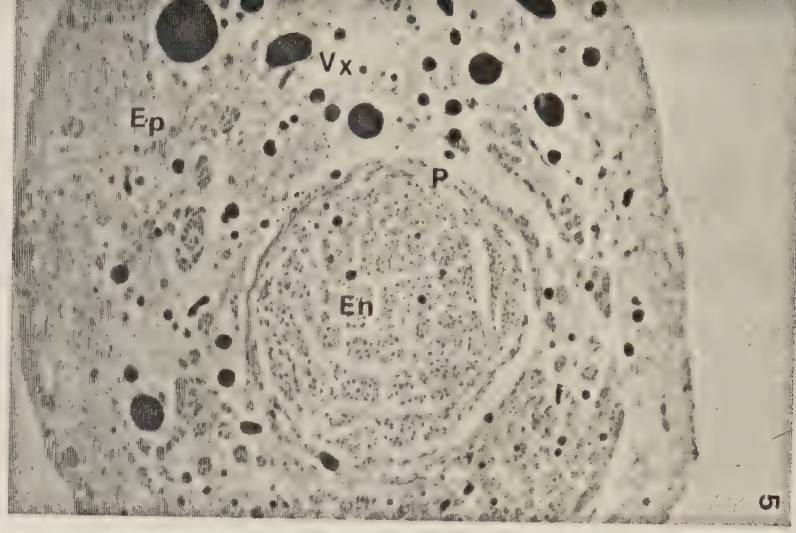


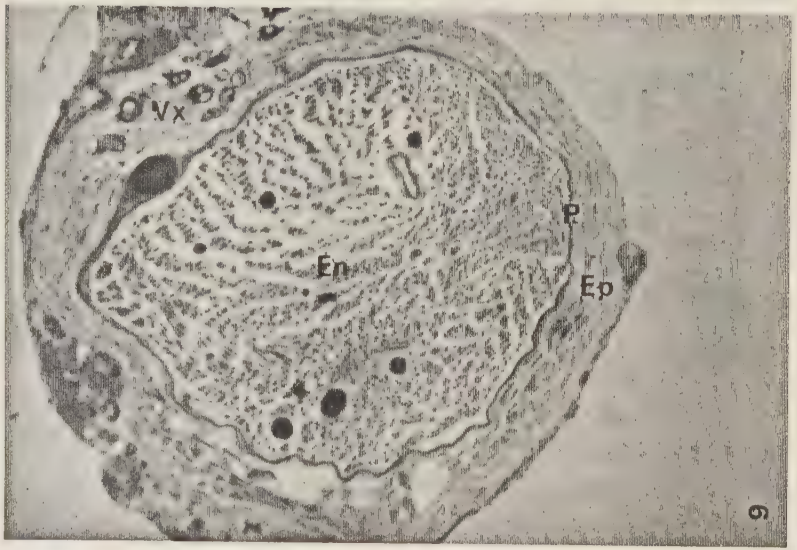
Ep
P
En
Coll
1


My
2


P
En
3


CA
Am
My
Ax


Vx
Ep
P
En
I
5


Vx
P
En
Ep
6

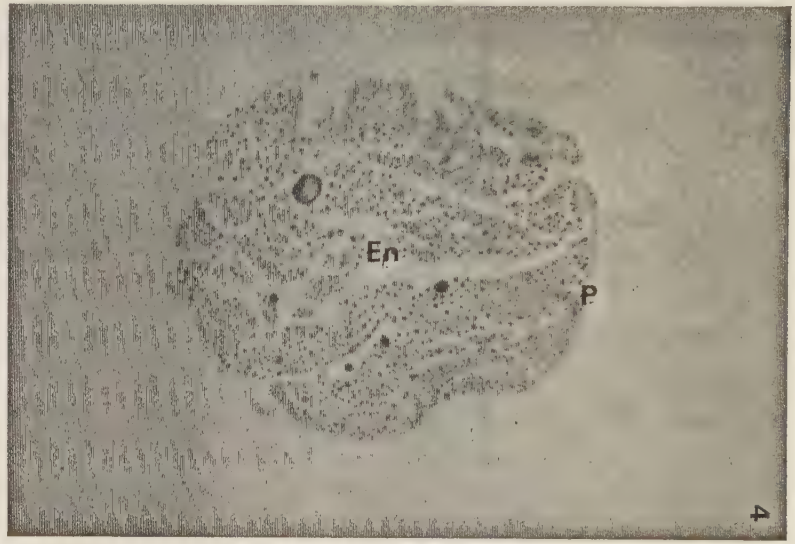

En
P
4

Photo 1 : S P E de rat témoin (x 100 - inclusion au paraplast)
Ep : épinèvre peu épais, très faiblement vascularisé
Coll : collatéral du SPE (sural ou rameau moteur) avec également un périnèvre
P : périnèvre très fin
En : endonèvre avec axones et myéline visibles.

Photo 2 : S P E de rat témoin (x 400 - inclusion au paraplast)
Ax : axone de gros diamètre (7 um)
My : myéline de même épaisseur autour de la plupart des axones
Pas de fibres amyéliniques visibles.

Photo 3 : S P E de rat - inclusion à l'araldit (x 250)
P : périnèvre
En : endonèvre
La myéline est visible mais pas les axones.

Photo 4 : S P E de rat greffé avec un greffon conservé 15 jours dans la solution de cialit - coupe 5 mm au-dessus de greffon. (x 100 - inclusion au paraplast)
P : périnèvre très fin - absence d'épinèvre éliminé lors du prélèvement
En : endonèvre, tissu conjonctif inexistant.
On y distingue quelques vaisseaux.

Photo 5 : S P E de rat greffé avec un greffon conservé 20 jours dans le cialit - coupe au milieu du greffon (x 100 - inclusion au paraplast)
Ep : épinèvre très épaissi avec nombreux néovaisseaux
f : groupe de fibres régénérées provenant sans doute d'une fuite de la suture .

P : périnèvre d'aspect normal
En : endonèvre avec nombreux vaisseaux et tissu conjonctif réduit.

Photo 6 : S P E de rat greffé avec un greffon conservé 15 jours dans le cialit - coupe 5 mm en aval du greffon (x 100 - inclusion au paraplast)
Ep : épinèvre épaissi par rapport à la photo 1 mais beaucoup moins que sur la photo 5 -nombreux vaisseaux
P : périnèvre d'aspect normal
En : endonèvre, tissu conjonctif réduit - les axones ne sont pas coupés perpendiculairement à tous les niveaux, nombreux vaisseaux.

Photo 7 : S P E de rat greffé avec un greffon conservé 20 jours dans la solution de cialit (x 400 - inclusion au paraplast)
Ax : axone de diamètre moyen (3 um)
My : myéline d'une égale épaisseur autour de chaque fibre
Am : groupes de fibres amyéliniques
C A : capillaire.

5EME PARTIE

ATTITUDE PRATIQUE DU VETERINAIRE EN FACE D'UNE LESION NERVEUSE : DU BILAN CLINIQUE A LA REEDUCATION.

- REALISATION DU BILAN
- INDICATIONS
- LA REEDUCATION.

ATTITUDE PRATIQUE DU VETERINAIRE EN FACE D'UNE LESION NERVEUSE : DU BILAN CLINIQUE A LA REEDUCATION.

Les nerfs les plus souvent atteints sont le médian, le cubital et le radial pour le membre thoracique, le tibial et le fibulaire pour le membre pelvien.

1 - REALISATION DU BILAN

1.1 - Bilan clinique :

Pour aborder correctement la lésion nerveuse, il est nécessaire de réaliser en tout premier un bilan clinique. Ce bilan suppose que le clinicien connait correctement les territoires moteurs et sensitifs de chaque nerf (25, 43). Rappelons schématiquement, pour l'innervation du membre antérieur

*radial

- atteinte haute : amyotrophie de la loge brachiale caudale, déficit moteur dans l'extension de l'avant-bras (attitude en flexion du coude), déficit sensitif de la face craniale du membre, sauf la portion dorso-latérale des doigts. Cette paralysie est en général accompagnée d'une atteinte radiale basse.

- atteinte basse : amyotrophie de la loge antébrachiale dorsale, attitude en flexion de la main et des doigts, troubles trophiques de l'extrémité antérieure (*"la tumeur dorsale du carpe"*)

*médian

- déficit moteur dans la flexion et la pronation, déficit sensitif de la face médio-palmaire et troubles trophiques des productions cornées (ongles, griffes).

+cubital

- déficit moteur dans le resserrement et l'écartement des doigts , *"griffe cubitale"* : flexion des doigts latéraux sous l'action des fléchisseurs (nerf médian) qui ne contrarient plus les interosseux, déficit sensitif le long de la face dorso-latérale de la patte.

Pour le membre postérieur

+ S P E (fibulaire)

- déficit moteur dans la flexion du pied et dans l'extension des orteils : l'animal steppe, déficit sensitif et troubles trophiques de la face dorsale de la patte.

+ S P I (tibial)

- déficit moteur dans l'extension du pied, la flexion et l'écartement des orteils, déficit sensitif sur la plante des pieds avec troubles trophiques importants.

+sciatique complet

- paralysie des ischio-tibiaux et des jambiers : la hanche est fléchie, le genou étendu, le pied inerte - anesthésie cutanée totale de la patte (*"en chaussette"*) - douleurs, troubles trophiques et vasomoteurs de la jambe et du pied.

D'une façon générale, on recherchera les zones d'anesthésie, d'hypoesthésie ou de sensibilité de protection.
Le signe de TINEL (41, 56, 93) utilisé fréquemment chez l'homme peut servir. La percussion au niveau de la zone de progression nerveuse déclenche une réaction douloureuse.

Il s'agit d'une hypersensibilité des extrémités neuronales en voie de régénération. Si la zone reste la même, après plusieurs examens séparés dans le temps, le pronostic est mauvais (il ne faut pas confondre avec une ostéoporose algique, une section ou rupture tendineuse négligée).

On appréciera la trophicité de la peau et des phanères, la couleur et la chaleur, la présence de plaies "*insensibles*".

Tous ces éléments seront notés avec précision pour suivre l'évolution soit spontanée, soit surtout après réparation chirurgicale.

1.2 - Bilan électrique

Les examens électriques utilisés chez l'homme ne sont applicables aux animaux que dans les centres spécialisés, car le matériel est très sophistiqué.
La coopération des animaux n'est pas aisée. On peut alors réaliser une préanesthésie (43). LECLERC et DENEUCHE (28,51) dans leur thèse, réalisent une description très détaillée de la technique de stimulation. Ils provoquent la réponse musculaire par l'application d'un courant (faradique, galvanique ou progressif) au niveau du nerf et des muscles. Ils mesurent également la chronaxie. Les réponses seront fonction du degré d'atteinte nerveuse ou musculaire.

Par exemple, si tous les neurones moteurs périphériques sont atteints :

nerf { faradique : pas de réponse
nerf { galvanique : pas de réponse

muscle { faradique : pas de réponse
galvanique : contraction lente

chronaxie : très élevée

Si une partie seulement des neurones périphériques est lésée

nerf : la secousse diminue d'amplitude

muscle
faradique : la contraction existe mais elle est diminuée d'amplitude
galvanique : la réaction est lente, vermiculaire.

rapport $\frac{\text{faradique}}{\text{galvanique}}$: est supérieur à deux (normalement inférieur à deux)

chronaxie : augmente moins que dans le cas précédent.

L'électromyogramme de stimulation - détection (53, 54), est beaucoup plus précis, mais nécessite l'utilisation d'une aiguille de détection (aiguille de Bronk), piquée directement dans le muscle (cf partie III). Dans certains cas, on peut utiliser des électrodes placées à même la peau. Il faut également avoir à sa disposition un oscilloscope cathodique couplé à un haut-parleur pour étudier correctement les PA des fibres musculaires.

2 - QUELLES SONT LES INDICATIONS ?

2.1 - Pour les plaies vues dans le cadre de l'urgence : lors d'une section franche par exemple.

Avant d'entreprendre la chirurgie nerveuse, il faut réparer toutes les autres lésions : tendineuses, osseuses et surtout vasculaires. La suture nerveuse peut alors être réalisée.

Deux cas se présentent :

1° la perte de substance est faible (après recoupe)

- le chirurgien est entrainé et dispose d'un microscope :
  . suture fasciculaire
  . ou simplement suture mixte de BOURREL
- le chirurgien ne dispose que de lunettes grossissantes :
  . suture mixte de BOURREL
  . éventuellement, avec de l'entrainement : suture fasciculaire de MILLESI ou suture avec orientation de MICHON.
- le chirurgien ne dispose d'aucun matériel optique :
  . suture névrilemmatique, si possible améliorée par le procédé de ROULLET
  . suture mixte de BOURREL préférable.
- le chirurgien n'a aucune compétence, ni aucun matériel : il enverra l'animal à un spécialiste ou le fera venir (le report au 21ème jour n'est pas préjudiciable, seule l'apparition des ulcérations dues à la perte de sensibilité limite le chirurgien).

2° la perte de substance est importante

Seule la greffe d'un nerf autologue ou homologue (conservé dans le cialit) nous paraît interessante.

La greffe fasciculaire, seule méthode valable dans ce cas ne peut être réalisée qu'au microscope.

2.2 - Pour les pertes vues en-dehors de l'urgence.

a) les interventions secondaires proprement dites :

le problème essentiel lors de réparations secondaires est de savoir quel délai il peut y avoir entre la plaie et la réparation.

Avant le troisième mois, on parle de suture secondaire précoce. Entre le troisième et le sixième mois, on parle de suture secondaire tardive. Après six mois, on parle de suture tardive vraie.

Chez l'animal, la perte de la sensibilité durant le temps que dure la régénération, expose les extrémités à des ulcérations et par voie de conséquence à l'infection.

Le chirurgien doit donc agir le plus tôt possible, s'il décide une intervention secondaire. Au 21ème jour, la suture peut déjà s'appuyer sur un épinèvre épaissi.

b) lésions nerveuses découvertes tardivement :

la plaie nerveuse est découverte secondairement et a été négligée. Exemples : polytraumatisme, fracture, ayant nécessité l'utilisation d'un plâtre, tumeurs nerveuses etc... (50). La lésion nerveuse peut être une simple contusion, une section partielle ou totale.

Il est alors nécessaire de réaliser un bilan clinique et si possible un bilan électrique.

L'intervention exploratrice peut être envisagée (50). Deux cas peuvent se présenter :

- si les signes de récupération sont nets ou discrets, la chirurgie n'est pas nécessaire, mais la surveillance doit être constante surtout lors de signes discrets.

- si les signes de récupération sont nuls, vers le deuxième ou troisième mois, une intervention chirurgicale doit être entreprise.

c) l'exploration itérative (11, 13, 15, 56) : elle peut se définir comme une réintervention destinée à controler l'état d'une suture et à la refaire si elle est défectueuse.

BOURREL (15) en donne le principe : "*Alors qu'en chirurgie vasculaire, l'opérateur a presque toujours la satisfaction de contrôler immédiatement le succès de son intervention, il n'en est pas de même en chirurgie du nerf périphérique. En effet, lorsque le chirurgien a suturé un nerf, la dégénérescence wallerienne vient différer, de plusieurs semaines ou de plusieurs mois, l'appréciation des premiers signes de succès de la suture. Il est d'autant plus perplexe lorsqu'il n'a pas réalisé lui-même la suture initiale, ou encore lorsqu'il l'a effectuée pour une plaie contuse ou dans les tissus cicatriciels d'une plaie initialement souillée et pas toujours correctement parée. Enfin, la surprise peut être grande de voir persister indéfiniment la paralysie d'un tronc nerveux qu'un opérateur avait controlé comme non lésé au cours du traitement en urgence d'une plaie des parties molles sur le trajet du nerf. Dans tous les cas, l'exploration itérative de la suture nerveuse ou du tronc nerveux supposé sain, apporte une réponse satisfaisante*".

Au cours de cette réintervention, trois éventualités sont possibles :

- il existe deux névromes réunis par une zone cicatricielle amincie : suture mixte de BOURREL .

- il existe une continuité nerveuse avec un renflement plus ou moins volumineux et plus ou moins induré à la palpation : neurolyse fasciculaire partielle avec ou sans suture.

- il existe une continuité nerveuse sans renflement et sans induration notable : on enlève seulement les points.

Le moment de la réintervention est fonction de la longueur du tronc nerveux et de la distance du niveau de la suture aux premiers muscles ré-innervés.
BOURREL (15) propose de se baser sur la vitesse de régénération axonale (deux à trois millimètres chez le chien) et le signe de TINEL.

3 - LA REEDUCATION

Sans une bonne rééducation, la suture ou la greffe nerveuse sont inutiles. La vitesse de régénération est en effet de deux millimètres par jour chez le chien, et l'atteinte des plaques motrices pour un nerf de 20 centimètres environ ne se fera qu'en trois mois. Il faut donc éviter les raideurs articulaires et surtout l'atrophie musculaire qui, même si la recolonisation de la plaque motrice se faisait, empêcherait le retour de la fonction.

La protection et la surveillance des membres contre d'éventuelles agressions (froid, brûlures, blessures) dues à la perte de sensibilité doit être envisagée. Un plâtre léger, une attelle, un botillon, peuvent suffire à protéger l'extrémité lors de paralysie du radial par exemple.

L'animal possède à l'inverse de bien des individus, une volonté de rééducation ; il cherche à tout moment à retrouver

la fonction locomotrice perdue. Il est donc nécessaire de l'aider.
Les massages, les applications locales de chaleur, les balnéations sous jets percutants (huit bars) avec une eau à 40°C (34), les compressions mécaniques rythmées des muscles paralysés, exercent une action minime mais non négligeable (32). De même : la kinésithérapie passive des groupes musculaires privés d'actions volontairement tiendra le jeu des articulations.
C'est cependant la kinésithérapie active qui donnera les meilleurs résultats. L'animal travaillera tous les jours en piscine ou tout simplement en rivière, maintenu par un harnais. Si on dispose de moyens plus importants, on pourra utiliser le tapis roulant. Un coin de pelouse où l'on isolera l'animal pourra donner de surprenants résultats.
L'électrothérapie (28) est également utilisable chez l'animal. Elle se sert de courants de basse fréquence qui tentent à reproduire les courants d'action d'un nerf. Ils permettent d'exciter sélectivement une musculature dénervée. L'application est donc pratiquement indolore.
L'action excitante est obtenue avec des courants de une à trois millisecondes, pour des fréquences de une à trente par seconde. Cette méthode n'est pas applicable aux muscles atrophiés.
La rééducation reste fondamentalement liée au bon vouloir du propriétaire à qui il faut faire comprendre d'emblée, avant toute intervention chirurgicale, que la réparation nerveuse sera longue. Il doit s'armer de beaucoup de patience et de volonté.

CONCLUSIONS

La réparation nerveuse chez les animaux domestiques se fait sous certaines conditions.

Le microscope opératoire et les instruments miniaturisés sont souvent nécessaires, ils constituent un investissement de taille, que seules les Ecoles Vétérinaires et les grandes cliniques peuvent réaliser.

Néanmoins, sur de très gros chiens, des loupes grossissantes (x2 ou x3), peu onéreuses, ainsi que le matériel de chirurgie courante (*"instruments fins"*) peuvent suffire.

Cette chirurgie nécessite une véritable spécialisation de la part du service et du chirurgien. Pour BUNCKE (33) *"le chirurgien qui pratique la microchirurgie doit s'entraîner, s'entretenir, ne pas fumer, ne boire ni café, ni alcool, dormir et éviter les exercices violents"*.

L'animal opéré est jeune et la lésion nerveuse ne dépasse pas un an d'ancienneté. La réparation sera plutôt primitive que secondaire en raison de l'apparition précoce des ulcérations et des troubles trophiques.

Quant à la suture, elle doit affronter les faisceaux le plus possible, être hermétique et sans tension.

La suture mixte épipérineurale, proposée par BOURREL (11, 14), est simple d'exécution et sera préférée aux sutures péri ou épineurales. Elle peut être facilement exécutée avec le microscope opératoire, mais aussi avec des lunettes grossissantes.

Lors de perte importante de substance nerveuse, la mise sous tension de la suture est nuisible à une bonne régénération. Le chirurgien peut alors utiliser avantageusement la greffe nerveuse. Les sutures, qui sont fasciculaires, nécessitent l'utilisation du microscope. Le greffon est prélevé directement sur le blessé (nerf sensitif pur, greffe autologue) ou sur un animal de même espèce (greffe homologue).

Notre expérimentation sur le rat montre que le pontage de nerfs avec des greffons homologues conservés plus d'un mois dans un dérivé mercuriel : le CIALIT, donned'aussi bons résultats que les autogreffes nerveuses, tant sur les plans cliniques, électriques qu'histologiques.

Cette expérimentation nous donne de sérieux espoirs quant à la réparation des pertes importantes de substance nerveuse.

La rééducation est le dernier impératif qui conditionne la réussite de l'opération. La kinésithérapie (piscine et tapis roulant) et l'électrothérapie en sont les éléments essentiels. C'est là un facteur très contraignant. Le chirurgien, avant d'entreprendre toute réparation, doit absolument avertir le propriétaire que sans rééducation sérieuse, la suture ou la greffe nerveuse sont inutiles.

U : Le Professeur de l'Ecole Vétérinaire
rapporteur

Professeur A. CAZIEUX

VU : Le Directeur de l'Ecole Vétérinaire de Toulouse

Professeur : R. LAUTIE

VU : Le Président de la Thèse

Professeur Y. LAZORTHES

VU et PERMIS D'IMPRIMER
Toulouse, le 29-9-1982
Le Président de l'Université Paul Sabatier

Professeur D. BANCEL

BIBLIOGRAPHIE

BIBLIOGRAPHIE

1 - AFANASSIEF (A) et RECHT (P) : résultats de 44 homogreffes de nerfs conservés par le cialit. Ann. chir. plast. 1971, 16, n° 4, 284-287.

2 - ALLIEU (Y), ALNOT (J.Y.) : résultats des sutures nerveuses sous microscope. Rev. chir. orthoped., 1978, 64, 4, 276.

3 - ALMQUIST (E) et EEG-OLOFSSON (O) : résultats des sutures nerveuses en fonction de l'âge in lésions traumatiques des nerfs périphériques ; 147 p., 21 x 27, Paris, l'Expansion, 1973.

4 - ASSAKY (G) : de la suture des nerfs à distance. Arch. gen. med. 1886, 2, 529-553.

5 - BALLANCE (C) et DUEL (A.B.) : operative treatment of facial plasy by the introduction of nerve grafts in fallopian canal and by other intratemporal methods. Archs. Otolar. 1932, 15, 1.

6 - BENNET (D) : an anatomical and histological study of the sciatic nerve, relating to peripheral nerve injuries in the dog and cat. J.small animal pract., 1976, 17, 386.

7 - BIEMER (E) : instruments of microsurgery of peripheral nerves and vessels ; in microsurgery, procedings of the 5th. International Congress of the International Microsurgery Society. Bonn, October 4-7, 1978, 474 p., T S Lie, Amsterdam Oxford, 1979.

8 - BISHOFF (A) : lésions traumatiques des nerfs périphériques : in Anatomie chirurgicale des nerfs périphériques ; 147 p., 21 x 27, Paris, l'Expansion, 1973.

9 - BORA (W) : Peripheral nerve repair in cats. J. of Bone and Joint Surgery ; 1967, 49, A, 4, 659-665.

10 - BORA (F.W) : a comparaison of épi-périneural methods of nerve suture ; Ortho. Clin. North Am., 1978, n° 133, 91.

11 - BOURREL (P) : l'exploitation itérative avec neurolyse interfasciculaire après réparation primitive des lésions des nerfs de la main ; Méd. Tropicale 1970, n° 5, vol. 30, 672.

12 - BOURREL (P) : sections nerveuses traumatiques sans paralysie motrice de la main. Ann. Chir. 1974, 28 (10), 831-834.

13 - BOURREL (P) : intérêt de l'exploration itérative dans les plaies des nerfs. A propos de 30 cas. Ann. chir. 1975, 29 (11), 955-998.

14 - BOURREL (P) : technique de sutures nerveuses Méd. et Armée ; 1978, 6, 243-246.

15 - BOURREL (P) : exploration itérative dans les plaies des nerfs. A propos de 39 cas. Méd. et Armée ; 1981, 9, 723-728.

16 - BOURREL (P) ; FERRO (P.M), LORTHIOIR (J.M) : résultats cliniques comparés des sutures "*mixtes*" épipérineurales et des sutures névrilemmatiques. Ann. chir. 1981, 35, n° 4, 286-294.

17 - BRATTON (B), KLINE (D), COLEMAN (W) and HUDSON (A) : experimental interfascicular nerve grafting ; J Neurosurg. 1979, 51, 323-332.

18 - BROOKS (D) : greffes nerveuses ; in : les lésions traumatiques des nerfs périphériques ; 147 p., 21 x 27, Paris, l'Expansion, 1973.

19 - BRUNELLI (G) : long term. results of peripheral nerve surgery in Microsurgery ; Procedings of the 5th. International Congress of the International Microsurgical Society Bonn, October 4-7, 1978, 474 p., T S Lie, Amsterdam Oxford 1979.

20 - BUNNEL (S) and BOYES (J.H) : nerve grafts. Amer. J. Surg. 1939, 44, 64-75.

21 - BURREAU (H), MAGALON (G) : les réimplantations de membres. La revue du praticien, 1980, 291.

22 - BURKE (P.F) and O'BRIEN (B) : a comparaison of three technics of micronerve repairs in dogs. The Hand. 1978, 10, n° 2, 135-143.

23 - CAMPBELL (J.B), BASSET (C.A.L.), GIRADO (J.M), SEYMOUR (R.J) and ROSSI (J.P) : application of monomolecular filter tubes inbridging gaps. in peripheral nerves and for prevention of neuroma formation. A preliminary report. J. Neuro Surg. 1956, 13, 635-637.

24 - CARAYON (A) : la neurolyse fasciculaire. Journal de chir. 1962, 3, 88, 435-472.

25 - COMTET (J.J) : bases anatomiques et techniques des réparations microchirurgicales des vaisseaux et des nerfs. Rev. chir. orthoped. ; 1978, 64, 4, 268-273.

26 - COMTET (J.J) : réparation des nerfs périphériques Rev. chir. orthoped. ; 1978, T 64, n° 4 , 289.

27 - DAVIS (L) and CLEVELAND (D.A) : experimental studies in nerve transplants. Ann. Surg. 1934, 99, 271-283.

28 - DENEUCHE (B) : essai d'électrodiagnostic et d'électrothérapie chez le chien ; Th. Doct. Vet., Lyon 1972.

29 - DUCKER (T.B), HAYES (G.J) : peripheral nerve grafts : experimental studies in the dogs and chimpanzee to define homograft limitations. J of Neurosurgery ; 1970, 32, 236-243.

30 - EDSHAGE (A), SUANTE (B) : peripheral nerve suture. Acta. chir. Scand., 1964, Supp, 331.

31 - EREAU (J) : contribution à l'étude des prothèses cutanées en chirurgie vétérinaire canine. Th. Doct. Vet., Toulouse, 1964.

32 - FALLET (G.M) : traitement physique et rééducation fonctionnelle dans les lésions des nerfs périphériques. Les lésions traumatiques des nerfs périphériques ; Paris, l'Expansion, 1973.

33 - FOUCHER (G), MERLE (M), MICHON (J) : microchirurgie vasculaire et nerveuse n° 11, 59 p., 21 x 21. Les dossiers persantine : Labo. Boehringer Ingelheim.

34 - GANIVET (A) : le premier centre de bioergodynamie canine. La semaine vétérinaire n° 134 mai 1979.

35 - GETTY (R) : Sisson and Grossman's. The anatomy of the Domestic animal, 13ème ed., 18 x 26, Philadelphia - London - Toronto, Saunders Company, 1975.

36 - GIRAUDEAU (P) : sutures et greffes nerveuses. Mémoire préliminaire pour l'obtention de la deuxième année du CES de recherche de microchirurgie. IMTSSA 1981.

37 - GIRAUDEAU (P), FLINOIS (J.L), BRETEAU (JPL) et RICOSSE (J.H) : pontage du nerf péroné chez le rat Wistar non consanguin par des greffons homologues conservés dans le cialit (résultats préliminaires). 1982, SSA, Travaux scientifiques.

38 - GOURLEY (I.M) : peripheral nerve repair ; J.A.A.H.A. 1976, 12 (5), 613-621.

39 - GUEGAN (Y) : les greffes nerveuses. Th. Doct. Méd. Rennes, 1977.

40 - GUEGAN (Y) et Coll. : nerve grafts experimental study. Importance of number of suture points ; Neurochirurgie 1979, 25, (4), 232.

41 - GUEGAN (Y) : microchirurgie des nerfs périphériques Ouest-Méd. ; 1981, 34, 13-18.

42 - HINRICHSEN (G) : chemical behaviour of microsurgical seam material in Microsurgery ; Procedings of 5th. International Congress of the International Microsurgical Sociéty Bonn, October 4-7, 1978 ; 474 p., T S Lie, Amsterdam - Oxford 1979.

43 - HOERLEIN (B.F) : canine neurology ; 3ème ed. 791 p., 16 x 25, Saunders Company 1978.

44 - HUBERT (G.C) : repair of péripheral nerve injuries Surgery. Gynec. Obstec. 1920, 30, 464-471.

45 - HUDSON (A), HUNTER (D), KLINE (D) : histological studies of experimental interfascicular graft repairs ; J.Neuro surg. 1972, 51, 333-340.

46 - ISELIN (M), AFANASSIEFF (A), De la PLAZA (R) : notre expérience de la conservation des os et des tendons par le cialit. Mem. Ac. chir. 1963, 89, n° 20-21, 597.

47 - JACQUEMAIRE (Ch) : contribution à l'étude des arthroplasies cutanées en chirurgie canine ; Th. Doct. Vet., Toulouse 1968.

48 - KLINE (D), HAYES (G) et MORSE (A.S) : a comparative study of reponse of species to peripheral nerve injury ; J. of neurosurgery ; 1964, 21, 11, 968-989.

49 - KLEINERT (M.E), SEARFIN (D), DANIEL (R.K) : the place of microsurgery in hand surgery ; Ortho. clin. North Am. ; 1973, 4 (4), 929-944.

50 - KNECHT (CD) : radical brachial - paralysis 1979, 46th Annual Meeting Procedings.

51 - LECLERC (A) : l'E.M.G. chez les animaux domestiques. Quelques aspects pathologiques ; Th. Doct. Vet. Lyon, 1975.

52 - LEGIER (J.P) : les lésions traumatiques du nerf sciatique. A propos de 100 cas. Th. Doct. Med. Bordeaux, 1976.

53 - LERIQUE (J) : ce que le praticien doit savoir de l'E.M.G. Techniques et résultats ; normaux ; G.M. de France, 1970, 77, n° 29, 6627.

54 - LERIQUE (J) : ce que le praticien doit savoir de l'E.M.G. ; les résultats pathologiques ; G.M. de France, 1970, 77, n° 29, 6467.

55 - LEESON (T.S), LEESON (C.R) : histologie, 451 p., Masson, 1971.

56 - LORTHIOIR (J.M) : les plaies des nerfs de la main. La suture mixte. Résultats sur une période de 10 ans à propos de 109 cas. Th. Doct. Méd. Bordeaux 1978.

57 - LOISEAU (P) et Col. : pathologie des nerfs rachidiens ; in : Encyclopédie médicochirurgicale T4, 17093, Paris 1978.

58 - MAGALON (T.A) : contribution à létude de la suture des nerfs superficiels. Expérimentation sur le nerf cubital du chien. Th. Doct. Vét., Alfort, 1977.

59 - MARCONI (F) and al. : experimental microsurgery as an indispensable introduction to clinical microsurgery ; Minerva Med. ; 1979, 20, 70, (45), 3137-43.

60 - MARMOR (L) et HIRASAWA (Y) : peripheral nerve homo and heterografts : the effects of various irradation doses and lapse of time before implantation ; Jap. J, exp. Med. 1969, 39, 417.

61 - MICHON (J) et MASSE (P) : le moment optimum de la suture nerveuse dans les plaies du membre supérieur. Revue chir. orthop. repar. appar. moteur, 1964, 50, 205-212.

62 - MICHON (J) : la suture nerveuse en 1972. Lésions traumatiques des nerfs périphériques, Paris, l'Expansion, 1973.

63 - MILLER (M) : anatomy of the dog ; Philadelphia - London, Saunders Company, 1964.

64 - MILLESI (H), GANGLBERGER (J) and BERGER (A) : erfahrungen mit der mikrochirurgie peripherer nerven. Chirur. Plast. Reconstr. 1967, 3, 47-55.

65 - MILLESI (H), WIDERMER STELLUNG, DURCHTRENNER : peripherer nerven und nerven transplantation. Munch. Mediz Wachenschr, 1965, 3, 2669-2670.

66 - MILLESI (H) and al. : the interfascicular nerve grafting of the median and ulnar nerves. J. of Bone and Joint Surgery, 1972, vol. 54A, n° 4, 727.

67 - MILLESI (H) : traitement des lésions nerveuses par greffes libres fasciculaires. Les lésions traumatiques des nerfs périphériques ; Paris, l'Expansion, 1973.

68 - MILLESI (H) and al. : further experience with interfascicular grafting of the median, ulnar and radial nerves. The J. of Bone and Joint Surgery ; 1976, vol. 58, n° 2, 209.

69 - MIYAMOTO (Y), WATARI (S), TSUGE (K) : experimental studies of the effets of tension on intraneural microcirculation in suture peripheral nerves. Plastic and Reconstructive Surgery ; 1979, 63 (3), 397-403.

70 - MIYAMOTO (Y) : experimental study of results of nerve suture under tension. Reconstructive surgery ; October 1979, 64 (4), 540-549.

71 - MOSSINGER (M), IMBERT (R), BOURREL (P), DE BISSCHOP (G), ABOUCAYA (L) : l'évolution des troubles neuromusculaires après section nerveuse avec suture immédiate. Etude expérimentale. Marseille chirurgical ; 1967, n° 2, 115-118.

72 - NAGEOTTE (J) : sur la greffe des tissus morts et en particulier sur la réparation des pertes de substance des nerfs à l'aide de greffons nerveux conservés dans l'alcool. C.R. Soc. Biol. Paris, 1917, 80, 859-865.

73 - ORGEL (M), TERZIS (J) : epineural and perineural repair. Plastic. and Reconstructive surgery ; 1977, 60, n° 1, 80-91.

74 - PATKIN (M) : ergonomics and microsurgery in Microsurgery ; procedings of the 5th International Congress of the International Microsurgical Society Bonn, October 47, 1978, 474 p., T.S. Lie, Amsterdam-Oxford, 1979.

75 - PAVAUX (Cl) : neurologie des mammifères domestiques. S.N. periphériques. 2 vol., E.N.V. Toulouse, 1977.

76 - PAVAUX (Cl) : myologie des mammifères domestiques. E.N.V. Toulouse 1976.

77 - PHILIPEAUX et VULPIAN : note sur des essais de greffe d'un tronçon du nerf hypoglosse après excision d'un segment de ce dernier nerf. Arch. et Norm. patho. ; 1870, 3, 618.

78 - PLONCARD (Ph) : etude comparative expérimentale de suture nerveuse microchirurgicale. Suture immédiate et suture retardée ; Neurochirurgie, 1976, 22, 3, 253.

79 - RAND (R) : microneurosurgery, 2ème ed., St Louis C.V. Mosby Company, 1978.

80 - RICHTER (M.P) et al. : fonctionnal and morphological motor regeneration after differents periods of denervation and following microsurgical suture of the peronal nerve ; Acta. Neuro. chir. (Suppl), 1979, 2, (28), 605-607.

81 - SAMII (M) : modern aspect of peripheral and cranial nerve surgery. Advances and technical standards in neurosurgery ; vol. 2 Springer Verlag, Wien, 1975.

82 - SANDERS (F.K) and YOUNG (J.Z) : the degeneration and reinnervation of grafted nerves ; J. Anat., 1942, 73, 143-166.

83 - SEDEL (L) : resultats des greffes nerveuses ; Rev. chir. orhtop. ; 1978, 64, 4, 284.

84 - SEDEL (L), BRICOUT (N) : résultats des greffes de gros troncs nerveux ; Ann. chir. Plast. , 1981, 26, n° 4, 341-346.

85 - SERAFIN (D) : microsurgery : Past, present and future ; Plast. Reconst. Surg. 1980, Nov. 66 (5), 781.

86 - SINGER (M) : the combined use of fibrin film and clot in end to end union of nerves ; an experimental study. J. Neurosurg. 1945, 2, 102-115.

87 - SUNDERLAND (S) : the intraneural topography of the radial, median and ulnar nerves ; Brain, 1945, 68, 243.

88 - SYKES (P.J) : the behaviour of surgical congress in microsurgery ; procedings of the 5th International Congress of the International Microsurgical Society. Bonn, October 4-7, 1978, 474 p., T S Lie, Amsterdam-Oxford 1979.

89 - TAMAI (S) and SAKAMOTO (H) : major and minor replantation in Microsurgery ; procedings of the 5th International Congress of the International Microsurgical Society Bonn, October 4-7, 1978, 474 p., T S Lie, Amsterdam-Oxford 1979.

90 - TAYLOR (G.I) : nerve grafting with simultaneous microvascular reconstruction. Clin. orthop. relat. Res. USA, 1968, n° 133, 56.

91 - TAYLOR (G.I), HAM (P.J) : the free vascularized nerve graft ; P. R. S. 1976, 57, 413-425.

92 - TERZIS (J), FAIBISOFF (B) and WILLIAMS (H.B) : the nerve gap : suture under tension v. s graft. Plast. and reconstr. Surg. ; 1975, vol. 56, n° 2, 166.

93 - TINEL (J) : les blessures des nerfs. Baillere Tindal and Cox London, I vol., 1917.

94 - TUBIANA (R) : les dates et les indications des réparations secondaires après lésions des nerfs périphériques du membre supérieur, in les lésions traumatiques des nerfs périphériques, 147 p., 21 x 27, Paris, l'Expansion, 1973.

95 - VALENTIN (P), RIGAL (J.P) et DELAGE (J) : possibilités et limites de la régénération du nerf sciatique chez le lapin. Revue de chirurgie orthopédique ; 1971, 57 n° 3, 187.

96 - VAN BEEK (A), ZOOK (E) : a nerve approximating Device. Plastic and reconstructive surgery, 1980, 66, 1, 143.

97 - VASCONEZ (L.O), MATHES (S.J), GRAU (G) : direct fascicular repair and interfascicular nerve grafting of médian and ulnar nerves ; Plast. Reconstr. Surg., 1976, 58, 482-489.

98 - VENAULT (B), ROFFE (J.L), MAGALON (G), CHRESTIAN (M), BUREAU (H) : regénération nerveuse. Etude expérimentale, chez le chien, de trois techniques de suture nerveuse. Ann. chir. plast. , 1981, 26, n° 4, 347-354.

99 - WEISS (P) and TAYLOR (A.C) : guides for nerve regenration across gaps. J. Neurosurg. 1946, 3, 375-389.